

工學博士 學位論文

위성항법보정시스템(DGPS)의 주변국간 신호간섭 및
대응전략에 관한 연구

A Study on the Signal Interference and Countermeasures of
Differential Global Positioning System among the
Neighboring Countries

指導教授 鞠 承 淇

2007年 2月

韓國海洋大學校 大學院

運航시스템工學科

孔 炫 東

本 論文을 孔炫東의 工學博士 學位論文으로 認准함

委員長 工學博士 鄭世謨 (印)

委 員 工學博士 鄭泰權 (印)

委 員 工學博士 李德秀 (印)

委 員 理學博士 朴龍喆 (印)

委 員 工學博士 鞠承淇 (印)

2007年 1月

韓國海洋大學校 大學院

목 차

표 목차	iv
그림 목차	vi
<i>Abstracts</i>	xi
제1장 서론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 방법	4
1.3 연구의 내용	5
제2장 위성항법시스템의 개요 및 현황	7
2.1 위성항법시스템(GPS) 개요	7
2.1.1 GPS의 개념	7
2.1.2 GPS의 구성	9
2.1.3 GPS의 신호체계	13
2.1.4 GPS 위치측정의 기본원리	18
2.1.5 GPS의 오차요인	21
2.2 위성항법보정시스템(DGPS)의 개요	29
2.2.1 DGPS의 개념	29
2.2.2 DGPS의 원리	30
2.2.3 DGPS 측위기법	31
2.2.4 DGPS 보정정보 전달 체계	34
2.2.5. DGPS 정보전송 매체	38
2.3 국내 GPS 보강시스템 구축·운영 및 활용현황	42
2.3.1 국내 GPS 보강시스템 현황	42
2.4 주변국가의 DGPS 구축·운영 및 활용 현황	60
2.4.1 일본의 DGPS 운영 및 활용	60
2.4.2 중국의 DGPS 운영 및 활용	62

제3장 중파대역 전파의 전파특성	64
3.1 중파대역의 전파특성 모델	64
3.1.1 중파 전파 이론	64
3.2. 해양용 DGPS 보정신호 전계강도 조사	78
3.2.1 소청도 DGPS 보정신호 전계강도 특성	78
3.2.2 팔미도 DGPS 보정신호 전계강도 특성	79
3.2.3 어청도 DGPS 보정신호 전계강도 특성	80
3.2.4 소흑산도 DGPS 보정신호 전계강도 특성	81
3.2.5 마라도 DGPS 보정신호 전계강도 특성	82
3.2.6 거문도 DGPS 보정신호 전계강도 특성	83
3.2.7 영도 DGPS 보정신호 전계강도 특성	84
3.2.8 호미곶 DGPS 보정신호 전계강도 특성	85
3.2.9 울릉도 DGPS 보정신호 전계강도 특성	86
3.2.10 주문진 DGPS 보정신호 전계강도 특성	87
3.2.11 저진 DGPS 보정신호 전계강도 특성	88
 제4장 DGPS 보정신호 전파 측정 및 분석	 91
4.1 해양용 DGPS 보정신호 전파 측정	91
4.1.1 조사개요	91
4.1.2 측정시스템 개요	92
4.2 해양용 DGPS 보정신호 전계강도 시뮬레이션 및 측정치 검증	96
4.2.1 소청도 DGPS 기준국(323kHz)	96
4.2.2 팔미도 DGPS 기준국(313kHz)	99
4.2.3 어청도 DGPS 기준국(295kHz)	101
4.2.4 소흑산도 DGPS 기준국(298kHz)	103
4.2.5 마라도 기준국(290kHz)	105
4.2.6 거문도 DGPS 기준국(287kHz)	107
4.2.7 영도 DGPS 기준국(300kHz)	109
4.2.8 호미곶 DGPS 기준국(310kHz)	111
4.2.9 주문진 DGPS 기준국(295kHz)	113

4.2.10 울릉도 DGPS 기준국(319kHz)	115
4.2.11 저진 DGPS 기준국(292kHz)	117
4.3 시뮬레이션 결과 및 분석	119
제5장 주변국 DGPS 보정신호 전파영향 조사 및 신호간섭 대응전략	121
5.1 주변국 DGPS 보정신호 전파영향 조사	121
5.1.1 조사개요	121
5.1.2 DGPS 감시시스템 개요	122
5.1.3 국내·외 DGPS 보정신호 측정값 현황	126
5.2 중국의 DGPS 보정신호 전계강도 조사 및 분석	127
5.2.1 Dasanshan DGPS 보정신호 전파 조사	127
5.2.2 Chenshanjiao DGPS 보정신호 전파 조사	129
5.2.3 Wangjiamai DGPS 보정신호 전파 조사	132
5.2.4 Yanweigang DGPS 보정신호 전파 조사	134
5.2.5 Haozhigang DGPS 보정신호 전파 조사	137
5.3 일본의 DGPS 보정신호 전계강도 조사 및 분석	139
5.3.1 Osesaki DGPS 보정신호 전파 조사	139
5.3.2 Wakamiya DGPS 보정신호 전파 조사	141
5.3.3 Hamada DGPS 보정신호 전파 조사	144
5.4 주변국 DGPS 보정 신호간섭 결과분석	146
5.4.1 중국의 DGPS 보정신호 영향	146
5.4.2 일본의 DGPS 보정신호 영향 분석	147
5.5 주변국의 DGPS 보정신호 간섭에 대한 대응전략	149
제6장 결 론	152
참고문헌	155

표 목차

<표 2-1> L5와 L2C 신호정보	17
<표 2-2> RTCM SC-104 정보종류 및 내용	35
<표 2-3> RTCM SC-104의 제 1 정보 내용	36
<표 2-4> 국내 GPS 관측소 현황	43
<표 2-5> 한국천문연구원의 GPS 관측소 현황	44
<표 2-6> 국립지리원의 GPS 관측소 현황	46
<표 2-7> 행정자치부 GPS 관측소 현황	48
<표 2-8> 해양수산부의 DGPS 기준국 현황	51
<표 2-9> 이용사례에 따른 DGPS 사용자 요구조건	58
<표 2-10> 한국전력공사의 DGPS 기준국 현황	59
<표 2-11> 한국자원연구소의 GPS 관측소 현황	59
<표 2-12> 일본 DGPS 기준국 현황 (27개소)	61
<표 2-13> 중국 DGPS 기준국 현황 (21개소)	63
<표 3-1> 소청도 기준국 및 옹도 감시국의 전계강도 실측치	78
<표 3-2> 팔미도 기준국 및 말도 감시국의 전계강도 실측치	79
<표 3-3> 어청도 기준국 및 흥도 감시국의 전계강도 실측치	80
<표 3-4> 소흑산도 기준국 및 당사도 감시국의 전계강도 실측치	81
<표 3-5> 마라도 기준국 및 가사도 감시국의 전계강도 실측치	82
<표 3-6> 거문도 기준국 및 서이말 감시국의 전계강도 실측치	83
<표 3-7> 영도 기준국 및 소리도 감시국의 전계강도 실측치	84
<표 3-8> 호미곶 기준국 및 죽변 감시국의 전계강도 실측치	85
<표 3-9> 울릉도 기준국 및 죽변 감시국의 전계강도 실측치	86
<표 3-10> 주문진 기준국의 전계강도 실측치	87
<표 3-11> 저진 기준국의 전계강도 실측치	88
<표 4-1> DGPS 수신기 사양	95
<표 4-2> 소청도 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치 비교	98
<표 4-3> 팔미도 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및	

실측치 비교	100
<표 4-4> 어청도 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치 비교	102
<표 4-5> 소흑산도 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치 비교	104
<표 4-6> 마라도 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치 비교	106
<표 4-7> 거문도 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치 비교	108
<표 4-8> 영도 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치	110
<표 4-9> 호미곶 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치	112
<표 4-10> 주문진 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치 비교	114
<표 4-11> 울릉도 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치 비교	116
<표 4-12> 저진 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치 비교	118
<표 5-1> DGPS 보정신호감시 시스템 설치 장소	122
<표 5-2> DGPS 단말기 및 안테나 주요사양	124
<표 5-3> 국내·외 DGPS 보정신호 모니터링 현황	126

그림 목차

<그림 2-1> GPS 위성의 진화	7
<그림 2-2> GPS 시스템의 구성	9
<그림 2-3> GPS 위성의 궤도 분포도	10
<그림 2-4> GPS 지상시스템	12
<그림 2-5> GPS 수신기 내부구조	13
<그림 2-6> GPS 위성의 신호변조 방식	14
<그림 2-7> GPS 위성의 신호구조	14
<그림 2-8> GPS 위성의 항법메시지 구조와 내용	16
<그림 2-9> L2C 및 L5 신호 구조	17
<그림 2-10> GPS 위치측정 기본원리	19
<그림 2-11> 전리층과 대류층의 굴절	22
<그림 2-12> 위성의 Masking Angle	25
<그림 2-13> 다중경로 오차	25
<그림 2-14> GPS 위성의 배치	27
<그림 2-15> GPS의 SA 제거후 정확도 비교	28
<그림 2-16> DGPS 개념도	30
<그림 2-17> DGPS 개념도	31
<그림 2-18> 실시간 이동측위(RTK)의 개념도	32
<그림 2-19> 후처리 상대측위 개념도	33
<그림 2-20> 한국천문연구원 a) GPS 시스템 b) GPS 상시관측소 현황	44
<그림 2-21> 국토지리정보원 a)무인상시관측소 구성 b) GPS 상시관측소 현황	45
<그림 2-22> 행정자치부 a) GPS 관측소 b) GPS 상시관측소 현황	47
<그림 2-23> 대전 위성항법중앙사무소 운영실	50
<그림 2-24> 거문도 DGPS 기준국 송·수신 안테나 및 중앙처리 장비	50
<그림 2-25> DGPS 측위정보를 이용한 해상 측량시스템	52

<그림 2-26> DGPS를 이용한 작업선	52
<그림 2-27> 육분의(좌)와 Range-Range 방법(우)을 이용한 해양 측량	53
<그림 2-28> DGPS를 이용한 선위결정	53
<그림 2-29> 일반 조정면허실기 코스	54
<그림 2-30> DGPS를 이용한 조정면허 실기시험 시스템	54
<그림 2-31> DGPS 사용 전 어장관리	55
<그림 2-32> DGPS 사용 후 어장관리	55
<그림 2-33> 해상에 설치된 등부표의 위치 확인	55
<그림 2-34> DGPS 이용 신조선 성능 평가시스템	56
<그림 2-35> 거가대교 조감도	56
<그림 2-36> 일본의 DGPS a) 기준국 지각변동 b) 감시국	60
<그림 2-37> 중국의 DGPS 기준국 현황	62
<그림 3-1> 직접파와 지면 반사파의 구조	65
<그림 3-2> 지구표면을 전파하는 수직 편파된 표면파의 front, side 모습	70
<그림 3-3> numerical distance p와 위상 상수 b의 함수로 나타낸	72
<그림 3-4> 도전을 및 유전율에 따른 전계 강도 변화	73
<그림 3-5> Milington method prediction	74
<그림 3-6> 3개의 경로를 거치는 지형에서의 Millington method	76
<그림 3-7> 2개의 경로를 거치는 지형의 Millington method	77
<그림 3-8> 소청도 기준국 및 옹도 감시국의 전계강도 일변화량	78
<그림 3-9> 팔미도 기준국 및 말도 감시국의 전계강도 일변화량	79
<그림 3-10> 어청도 기준국 및 홍도 감시국의 전계강도 일변화량	80
<그림 3-11> 소흑산도 기준국 및 당사도 감시국의 전계강도 일변화량	81
<그림 3-12> 마라도 기준국 및 가사도 감시국의 전계강도 일변화량	82
<그림 3-13> 거문도 기준국 및 서이말 감시국의 전계강도 일변화량	83
<그림 3-14> 영도 기준국 및 소리도 감시국의 전계강도 일변화량	84
<그림 3-15> 호미곶 기준국 및 죽변 감시국의 전계강도 일변화량	85
<그림 3-16> 울릉도 기준국 및 죽변 감시국의 전계강도 일변화량	86
<그림 3-17> 주문진 기준국의 전계강도 일변화량	87
<그림 3-18> 저진 기준국의 전계강도 일변화량	88

<그림 4-1> 항로표지측정선 a) 한빛호, b) 전파측정 처리장비	91
<그림 4-2> DGPS 보정신호 측정시스템 구성도	93
<그림 4-3> 측정장비 구성도	94
<그림 4-4> 울릉도기준국 수신확률 분석화면	96
<그림 4-5> 측정선 “한빛호” 항적도	97
<그림 4-6> 소청도 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도	98
<그림 4-7> 측정선 “한빛호” 항적도	99
<그림 4-8> 팔미도 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도	100
<그림 4-9> 측정선 “한빛호” 항적도	101
<그림 4-10> 어청도 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도	102
<그림 4-11> 측정선 “한빛호” 항적도	103
<그림 4-12> 소흑산도 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도	104
<그림 4-13> 측정선 “한빛호” 항적도	105
<그림 4-14> 마라도 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도	106
<그림 4-15> 측정선 “한빛호” 항적도	107
<그림 4-16> 거문도 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도	108
<그림 4-17> 측정선 “한빛호” 항적도	109
<그림 4-18> 영도 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도	110
<그림 4-19> 측정선 “한빛호” 항적도	111
<그림 4-20> 호미곶 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도	112
<그림 4-21> 측정선 “한빛호” 항적도	113
<그림 4-22> 주문진 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도	114
<그림 4-23> 측정선 “한빛호” 항적도	115
<그림 4-24> 울릉도 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도	116
<그림 4-25> 측정선 “한빛호” 항적도	117
<그림 4-26> 저진 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도	118
<그림 5-1> DGPS 보정신호 감시시스템 장소	121
<그림 5-2> DGPS 보정신호 감시시스템 구성도	123
<그림 5-3> 진도 DGPS 보정신호 감시시스템	124
<그림 5-4> 진도 DGPS 보정신호 모니터링 현황	125

<그림 5-5> Dasanshan DGPS과 인천 DGPS 보정신호 감시국간 직선거리	127
<그림 5-6> Dasanshan DGPS 보정신호세기 변화율	128
<그림 5-7> Dasanshan DGPS 유효신호 범위	129
<그림 5-8> Chenshanjiao DGPS과 인천 DGPS 보정신호 감시국간 직선거리	130
<그림 5-9> Chenshanjiao DGPS 보정신호세기 변화율	131
<그림 5-10> Chenshanjiao DGPS 보정신호 유효범위	131
<그림 5-11> Wangjiamai DGPS과 군산 DGPS 보정신호 감시국간 직선거리	132
<그림 5-12> Wangjiamai DGPS 보정신호세기 변화율	133
<그림 5-13> Wangjiamai DGPS 보정신호 유효범위	134
<그림 5-14> Yanweigang DGPS과 군산 DGPS 보정신호 감시국간 직선거리	135
<그림 5-15> Yanweigang DGPS 보정신호세기 변화율	136
<그림 5-16> Yanweigang DGPS 보정신호 유효범위	136
<그림 5-17> Haozhigang DGPS과 진도 DGPS 보정신호 감시국간 직선거리	137
<그림 5-18> Yanweigang DGPS 보정신호세기 변화율	138
<그림 5-19> Yanweigang DGPS 보정신호 유효범위	138
<그림 5-20> Osesaki DGPS과 백야도 DGPS 보정신호 감시국간 직선거리	139
<그림 5-21> Osesaki DGPS 보정신호세기 변화율	140
<그림 5-22> Osesaki DGPS 보정신호 유효범위	141
<그림 5-23> Wakamiya DGPS과 간절곶 DGPS 감시국간 직선거리	142
<그림 5-24> Wakamiya DGPS 보정신호세기 변화율	143
<그림 5-25> Wakamiya DGPS 보정신호 유효범위	143
<그림 5-26> Hamada DGPS과 간절곶 DGPS 감시국간 직선거리	144
<그림 5-27> Hamada DGPS 보정신호세기 변화율	145
<그림 5-28> Hamada DGPS 보정신호 유효범위	145

<그림 5-29> 중국의 DGPS 보정신호 유효범위	146
<그림 5-30> 한-중간 DGPS 보정신호 유효범위	147
<그림 5-31> 일본의 DGPS 보정신호 유효범위	148
<그림 5-32> 한-일간 DGPS 보정신호 유효범위	148
<그림 5-33> 한국, 중국 및 일본의 DGPS 보정신호 유효범위	151

*A Study on the Signal Interference and
Countermeasures of Differential Global Positioning
System among the Neighboring Countries*

Kong, Hyun-Dong

*Department of Ship Operating Systems Engineering
Graduate School of Korea Maritime University*

Abstracts

The GNSS(Global Navigation Satellite System) is the worldwide navigation system that could be got the fix, the timing and so on by using the electric wave emitted from the artificial satellite at the altitude of 25,000 km. The United States has developed GPS(Global Positioning System) since 1970's, it expressed the completion of the whole world navigation system officially in July, 1995. This system has the 3-dimensional coverage wherever can be covering on the earth, so it is used widely of the world.

In the recently, the GPS is related to the ordinary life like as the navigation field, military field, communication field and the traffic field, etc. It will be expected to play an important role in the forthcoming ubiquitous era.

It was made clear that GPS services are susceptible to various types

of interference, and those effects of these vulnerabilities on the applications. GPS was augmented to satisfy the various requirements for accuracy, coverage, availability, continuity and integrity. Differential GPS service provides increased accuracy and integrity of the GPS using land-based reference stations that transmit correction messages. And there are also the satellite-based GPS augmentation systems, such as WAAS, EGNOS and MSAS.

Ministry of Maritime Affairs and Fisheries of Korea has established and operated the land-based 11 DGPS stations along the coast in order to ensure the maritime traffic safety, according to the recommendation of IALA(International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities) and IMO(International Maritime Organization). These DGPS stations are transmitting the correction messages(within 2m) with medium wave frequency(283.5~325kHz) that the transmission power is 300W. Its coverages are 185km of the coastal sea area of the country. Also the correction messages are transmitted from the neighboring countries, and they could get to our coastal area and interfere with our signals.

The research on the effect of mutual interference among the neighboring countries has not carried out. In the study, the condition of mutual interference was grasped and the countermeasures of it are proposed. Calculations of signal strength for DGPS stations have been carried out by using the Millington Method which is widely applied in analyzing for the medium wave characteristics. And the field data emitted from DGPS stations have been measured on the sea. The

comparative analysis between the calculated results and field data has carried out and verified with coincidence.

In order to grasp the effect where the DGPS signals of the neighboring countries act on our waters, the simulations which use the medium wave characteristics have been carried out on the basis of verified data. It was known that the effective coverage of C DGPS station in China penetrated into our western coast near by Sochungdo, and the effective coverages of H and W DGPS station in Japan penetrated into our southern coast near by Youngdo.

Actually, it may raise the problem that the foreign signals with big error will be able to receive in our coast. It can cause not only the loss of reliability on positioning accuracy but also the confusion of security on state of emergency.

In the future, the result of the study will become the scientific ground data which prepares national countermeasures for foreign DGPS signal interference. Also, it may be properly used national countermeasure materials in FERNS(Far East Radio Navigation Service) Conference established to promote cooperation in operating radio navigation aids among Korea, China Japan and Russia.

제1장 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

인류는 아주 먼 옛날부터 강이나 바닷가에서 이동과 수렵생활을 통하여 자연스럽게 항해술을 익히고 발전시켜 왔다. 그동안 항해자들은 낮에는 산이나 해안선의 형태 등을 이용하고 밤에는 별자리나 나침반 등 수 많은 항법장비들을 개발하여 항해를 해 왔으나, 멀리 대양을 항해할 경우나 밤하늘의 별자리를 볼 수 없는 눈, 비가 많은 날에는 이러한 자연현상을 이용하는데 제한적일 수 밖에 없었다. 그래서 이러한 영향을 받지 않고 항구적으로 이용 가능한 항법시스템을 연구 개발해 온 결과 이제는 시·공간적 개념을 초월한 인공위성에 기반한 전 세계적인 위성항법시스템(GNSS, Global Navigation Satellite System)을 개발하여 언제, 어디서나 편리하게 이용하기에 이르렀다.

위성항법시스템(GNSS)은 전 세계적으로 가장 널리 이용되고 잘 알려진 미국의 GPS(Global Positioning System)와 구 소련이 구축하였으나 현재 불완전한 형태로 운영중인 GLONASS(GLObal NAVigation Satellite System) 및 최근 유럽연합에서 추진중인 Galileo가 있다.

GNSS로 대변되는 GPS는 미 국방성 주관하에 미군의 전 세계적 군사작전을 위한 시스템으로 개발되었으나, 1983년 캄차카반도에서 구 소련 공군기에 의한 KAL-007기 피격사건을 계기로 민간 이용이 허락되면서 활용이 본격화되기 시작하였다. GPS는 수신기를 소유한 누구나가 손쉽게 현재의 위치 및 시각을 알 수 있어, 항법분야는 물론 측지·측량분야, 지리정보 분야, 자원관리 분야, 각종 건설공사 분야 등 사회 각 분야에서 급속히 이용이 확대되고 있다.

이러한 많은 장점에도 불구하고 GNSS는 몇 가지 취약점을 갖고 있다. 첫째로 GPS의 경우 고의적인 오차를 없애기는 하였으나 미 국방성은 유사시 이를 재개할 수도 있다는 개연성이 있어 미국을 제외한 국가들에게는 신뢰성 확보가 지속적인 문제가 되고 있다. 둘째로 GPS 자체로는 GPS의 오작동을 알 수 없기 때문에 안전이 중시되는 항법분야에서는 고장이나 오작동시 GPS 이용자에게 경고를 하여 주는 무결성 기능이 추가적으로 필요하다. 셋째로 GPS의 신호가 미약한 편이

므로 TV전파나 각종 유해 전파에 간섭을 받기 쉽고, 옥내나 빌딩의 그늘 또는 밀림지역에서는 GPS 신호를 수신하기 어렵다는 단점을 가지고 있다.

이러한 단점들을 개선하기 위해 미국 해안경비대(U.S. Coast Guard)는 공공안전 서비스 제공을 목표로 하는 높은 수준의 정확도, 무결성, 유용성 및 가용성을 갖춘 위성항법보정시스템(DGPS, Differential GPS) 기술을 개발하여 태평양 및 대서양 연안에 구축하였다. 이 시스템은 GPS의 취약점을 보강한 것으로써 육상, 해상, 항공분야뿐만 아니라 측량 분야에 이르기까지 국가 측위 및 시각정보 인프라로서 대부분의 나라에서 구축하여 운용중이다.

특히, 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization) 및 국제항로표지협회(IALA, International Association Lighthouse Authority)에서는 항만 입·출항로 및 연안 협수로 항해선박의 안전운항을 위하여 GPS의 위치오차를 10m 이내로 보정하여 실시간으로 정확한 위치정보 제공을 위한 위성항법보정시스템(DGPS)을 설치·운영토록 권고하였다.

이에 따라 해양수산부에서는 1998년 8월부터 팔미도 및 어청도 DGPS 기준국을 시작으로 2002년까지 우리나라 연안 11개소(동해4, 남해3, 서해4)에 DGPS 기준국을 설치·운영함으로써 해상교통 안전은 물론 해양조사, 해양측량, 항만건설, 항로준설 및 어장관리 등에서 광범위하게 활용하고 있다. 또한, 이러한 해양용 DGPS 시스템이 전국토의 65% 지역에서 이용 가능함에 따라 육상 이용자들을 위해 국무총리 훈령 제427호(2000.12.7)에 의거 해양용과 연계한 전국망 DGPS(NDGPS, Nationwide DGPS)를 추진하여 무주를 비롯한 5개소가 2006년말까지 구축 완료되었으며, '07년도 춘천 DGPS 기준국이 구축되면 우리나라 전역에서 정확한 DGPS 보정정보를 활용할 수 있게 될 것이다.

이와 같이 전국망 DGPS 보정정보는 매우 유용한 고정밀 측위정보 및 무결성 정보를 육상 이용자들에게도 실시간으로 제공하기 때문에 항법분야는 물론 측지·측량분야, 지리정보 분야, 자원관리 분야, 각종 건설공사 등 사회 각 분야에서 급속히 이용이 확대되고 있다.

특히, 국제항로표지협회(IALA) 전파항법위원회에서는 2002년부터 추진한 위성항법보정시스템(DGNSS, Differential Global Navigation Satellite System)에 대한 권고(안)를 마련하기 위해 2006년 3월 14일부터 16일까지 3일간에 걸쳐 영국 Trinity House에서 DGNSS Working Group 회의를 개최하였다. 여기에서

DGNSS 미래에 관한 권고안과 국제해사기구(MO)의 국제해상인명안전협약(SOLAS, International Convention on the Safety of Life at Sea)에 DGNSS 수신기 강제탑제 규정을 명문화하기로 하고 범세계 전파항행시스템(WWRNS, World Wide Radio Navigation System)의 필수 구성요소로서 DGNSS 서비스의 중요성을 국제해사기구(IMO)에 제출하기 위한 준비를 마쳤다. 또한, 국제항로표지협회(IALA) 전파항법위원회(Radio Navigation Committee) 제 23차 회의에서는 미래 위성항법시스템(GNSS) 요구조건을 규정한 국제해사기구(IMO) 규약에 해양에서의 새로운 적용분야로 수로측량, 항만운영, 선박정박 및 항로표지 관리 등을 포함하고, 이를 위하여 1m 이하의 정확도를 요구하는 고정밀 위치 정확도, 무결성 및 안전성을 확보하여야 한다는 규정을 새로이 추가하였다(IMO 규약 A, 915).

이와 같이 해양활동에서 요구되는 GPS의 보정정보인 DGPS 보정신호의 이용분야 및 수요는 급속히 증가하고 있는 추세이다. 그러나 이러한 DGPS 보정신호의 서비스 중단이나 간섭 등으로 인한 선박 좌초 및 충돌사고 발생시에는 고귀한 인명손실은 물론 막대한 경제적 피해와 해양오염에 따른 환경파괴 등 대응하기 어려운 인재 피해가 우려된다. 특히 1996년 남해안 씨프린스호 사고와 같은 대규모 유류오염 사고는 해양오염 방제 등에 천문학적인 복구 비용과 장기간에 걸친 시간과 노력이 필요하다(김, 2001).

이처럼 DGPS 보정정보 신호는 항행선박의 안전과 항만운영 그리고 각종 해상활동에 있어서 중요하게 활용되고 있으나, 인접 연안국에서 방송되는 DGPS 보정신호가 우리나라 해역에 미치는 영향에 대한 연구는 아직 미미한 실정이다.

이와 관련 해양수산부에서는 주변국 DGPS 보정신호가 우리나라 연안 해역에 침투하는 현상을 파악하기 위해 인천-천진, 인천-단둥, 인천-청도, 부산-오사카 간 정기 여객선을 이용하여 조사한바 있으나, 이는 정기 여객선을 사용한 일부 한정된 해역에 국한된 조사에 그쳐 미흡한 실정이다(박 등, 2005). 그렇다고 전 해역에 대한 실측조사에는 많은 시간과 비용이 소요되어야 하는 제약이 따른다. 따라서 인접 연안국의 DGPS 보정신호가 우리나라 연안 해역에 미치는 영향에 대해 기술적인 연구가 필요한 실정이다.

본 논문에서는 해양수산부에서 운영하고 있는 연안 5개 DGPS 감시국에서 수집한 주변국 DGPS 보정신호 및 중파대역의 전파 특성 모델을 이용하여 주변국 DGPS 보정신호의 유효범위를 시뮬레이션 하였다. 이러한 과학적인 접근 방법을

통해 주변국 DGPS 보정신호가 우리나라 동해, 남해 및 서해 연안에 영향을 미치는 범위를 파악하여 앞으로 인접국간 DGPS 보정신호의 중첩이나 간섭에 따른 문제 발생시 입증 자료로 활용하고자 한다.

1.2 연구의 방법

본 논문은 우리나라 주변 해역에 영향을 미치는 주변국 DGPS 보정신호의 유효 범위를 파악하기 위하여 해양수산부의 연안 5개 DGPS 보정신호 감시국에서 수신된 데이터를 기초로 중파대 전파 특성 모델을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 우선 중파대 전파 특성 모델의 신뢰성 검증을 위하여 해양수산부 항로표지 측정선 “한빛호”에 의해 2004년 4월부터 2006년 5월까지 실측한 관측 자료를 활용하였다. 한빛호의 DGPS 보정신호 전용수신기(Trimble NT300D, Trimble 4000 DSI) 및 계측장비로 수신한 데이터를 변환장치에 출력하고, 데이터 변환장치에서 데이터를 편집한 후 주기적으로 데이터 처리장치에 전송하여 3분에 1회 DB에 저장한 데이터를 “Microsoft SQL Sever”로 분석 처리하였다.

이렇게 분석 처리한 측정치와 해양수산부에서 전국망 DGPS 기준국 적정위치 선정을 위해 개발한 중파대 전파감쇄 특성 모델을 이용 시뮬레이션을 행한 계산치를 비교한 결과, 일부 안테나 형식이나 접지저항의 문제가 있는 DGPS 기준국을 제외하고는 미 해안경비대에서 규정한 수신기 기종에 따른 오차 허용범위 ($10\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이하)내에 일치함을 볼 수 있었다.

따라서 본 논문에서는 연안 5개소의 DGPS 감시국에서 수집한 주변국 DGPS 보정신호의 전계강도 실측치를 기초로 중파대역 전파감쇄 이론에 의한 모델을 이용하여 시뮬레이션을 통하여 주변국 DGPS 보정신호의 유효범위를 계산할 수 있었다.

1.3 연구의 내용

본 논문은 국제해사기구(IMO) 및 국제항로표지협회(IALA)에서 권고한 연안국 간의 DGPS 보정신호 중첩 및 간섭 배제 원칙에 따라 서해 경기만내에까지 영향을 미치는 중국의 DGPS 보정신호 및 남해서부 및 동해남부 연안 해역까지 영향을 미치는 일본의 DGPS 보정신호에 대한 침투 범위를 분석하고 신호간섭에 대한 대응전략을 마련하기 위하여 다음과 같은 내용으로 구성된다.

제1장에서는 연구의 배경 및 목적, 연구의 방법 및 연구의 내용에 대해 서술한다.

제2장에서는 GPS의 개요로서 GPS의 개념 및 구성, 신호체계, 위치측정 원리, 오차요인 등에 대해서 기술한다. 또한, DGPS의 개념 및 원리, 측위기법, 보정정보 전송, RTCM-104 규격 및 전송매체 등에 대하여 기술한다. 특히, 국내·외 DGPS 구축·운영 실태를 조사 분석하고, 이러한 분석을 통하여 국내·외 DGPS 보정정보의 활용실태 및 향후 전망에 대하여 기술한다.

제3장에서는 중파대역 DGPS 보정신호의 전파 특성에 대한 이론적 배경으로 중파의 특성, 감쇄요소 및 육지와 해양의 혼합경로에 의한 전파감쇄 현상에 대하여 기술한다. 특히, 혼합경로에 따른 중파의 감쇄 모델로 잘 알려진 Milington Method에 대하여 고찰한다. 또한 해양용 DGPS 기준국 및 감시국의 전계강도 변화량을 조사 분석한다.

제4장에서는 해양수산부의 측정선 "한빛호"가 측정한 11개 해양용 DGPS 보정신호의 거리에 따른 감쇄값과 제3장에서 고찰한 중파대역 전파감쇄 모델에 의한 계산값을 비교분석한다. 이를 통하여 해양용 DGPS 보정신호의 전파 현상을 파악하는데 Milington Method가 모델로 적합하다는 것을 입증한다.

제5장에서는 제4장에서 입증된 중파대역 전파특성 모델을 근거로 연안 5개

DGPS 보정신호 감시국에서 수집한 주변국 중국과 일본의 해양용 DGPS 보정신호가 서해, 남해 및 동해 연안 해역에 미치는 유효범위를 계산하여 우리나라의 해양용 DGPS 보정신호와의 간섭영향을 조사 분석하고 그에 대한 우리의 대응전략을 제안한다.

제6장에서는 각장에서 얻어진 결과를 정리하여 본 논문의 결론으로 한다.

제2장 위성항법시스템의 개요 및 현황

2.1 위성항법시스템(GPS) 개요

2.1.1 GPS의 개념

1950년대 후반부터 1960년대 초기에 걸쳐 미 해군은 위성에 기초한 두 종류의 측량 및 항법체계를 마련하였다. Transit 이라고 불리워진 시스템은 1964년부터 가동되기 시작하여 1969년에 일반에게 공개되었다. 한편 Timation은 위성에 기초한 측량 및 항법체계의 원형으로만 자리 잡았을 뿐 실행에 옮겨지지 못하였다. 이와 때를 같이하여 미 공군에서는 시스템 621B라고 일컬어지는 계획을 착수하였는데 1973년에 미 국방차관이 해군에서 계획했던 Timation과 시스템 621B를 통합할 것을 지시하여 DNSS(Defense Navigation Satellite System)을 추진하였으며, 이것이 후에 NAVSTAR(Navigation System with Timing And Ranging) GPS로 발전되었다.

1970년대에 위성항법시스템의 개념 검증을 위한 1단계 사업이 착수되어 위성 제작 및 여러 실험이 행해진 후 1977년 6월 최초로 위성항법시스템 기능을 수행할 수 있는 NAVSATR 위성이 발사되었으며, NTS-2(Navigation Technology Satellite 2)라고 불리워진 이 시스템은 단지 7개월 정도 운영되면서 위성에 기초한 항법 이론의 타당함을 입증하였다. 1978년 2월 최초 Block I 위성이 발사되고, 1979년부터는 2단계로 전체 규모의 설계와 검증이 행해졌는데 9개의 Block I 위성이 이후 6년 동안 추가로 발사되었다.(<그림 2-1>참조).



<그림 2-1> GPS 위성의 진화

3단계는 1985년 말에 2세대의 Block II 위성이 제작되면서 시작되었다. 현재 Block I은 운영되지 않고 있으며 2006년 현재 27개의 위성이 운영중에 있다. GPS의 민간 이용은 1983년 소련에 의한 우리나라 민간 항공기 KAL-007기의 격추 사건을 계기로 1984년 레이건 대통령에 의해 민간 이용이 공식 선언되었다.

1960년대 말에 개발된 미 해군 위성항법 시스템(Navy Navigation Satellite System : NNSS)의 단점을 보완하기 위해 미 국방부는 NNSS를 대체할 새로운 위성항법 시스템으로 GPS의 연구개발을 1973년부터 공군 주도로 추진하게 되었다.

NAVSTAR라고 불리는 GPS 위성이 1978년에 처음으로 발사된 이래 Block I, Block II A, Block IIR, Block IIF 4단계 계획으로 발전되어 왔다. 실험 위성인 Block I 계열 위성은 1978년부터 1985년 사이에 11개의 위성이 발사되었고, 위성의 수명이 종료되어 현재는 활동하지 않는다. 상용 위성인 Block II A 위성은 약 14억 달러를 들여 보잉사에 의해 제작되었으며, 1989년부터 1997년까지 28개의 위성이 발사되었는데, 1995년 7월에 Block I과 Block II A 위성을 합하여 당초에 계획한 총 24개의 위성이 모두 채워졌다.

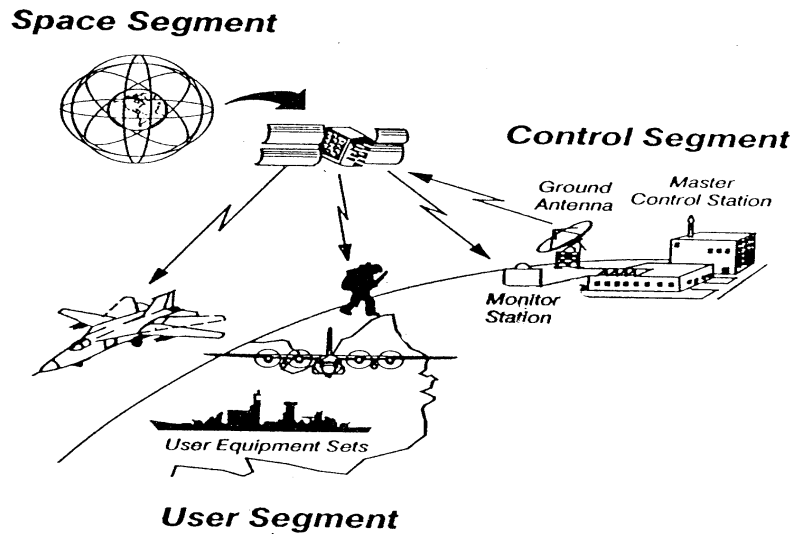
Block II A 위성은 수명이 약 7.5년이어서 상당수의 위성이 아직도 활동중이다. Block II A 위성을 대체하는 차세대 GPS 위성인 Block IIR은 록히드 마틴사에 의해 1997년에 시작하여 2002년까지 발사될 예정이었다. Block IIR을 이어 수명이 약 12.7년인 Block IIF 위성 33기가 보잉사에 의해 1996년부터 제작 중이며 2001년에 첫 Block IIF가 발사되어 2012년까지 이어질 전망이다(Kaplan 1996).

이 GPS는 미국이 군사적 목적으로 개발하였고 GPS 신호의 민간 이용은 1983년 구 소련에 의한 한국 항공기 KAL-007기의 격추 사건을 계기로 1984년 레이건 대통령에 의해 공식적으로 허용되었으며, 1990년에 발생한 걸프전과 2003년 이라크 전쟁에서 그 효용성이 크게 입증되었다.

GPS 위성은 지구상 어느 장소에서나 4개 이상을 관측할 수 있도록 궤도가 설계되어 있으므로, 하루 24시간 동안 날씨와 상관없이 3차원 위치결정과 백만분의 1초의 정밀도로 시각측정이 가능하다. GPS를 이용한 위치결정은 날씨와 시간, 측정 거리에 제약을 받지 않고 정밀한 위치측정 결과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 장비의 운반 및 설치와 관측자료의 처리가 간편하여 종래의 기법에 비해 경제성과 효율성을 인정받고 있다. 이에 따라 GPS는 위치와 시간정보가 필요한 다양한 분야에 급속히 활용되고 있다.

2.1.2 GPS의 구성

GPS의 구성 요소는 우주부분(Space Segment), 제어부분(Control Segment), 사용자 부분(User Segment)으로 크게 <그림 2-2>와 같이 구분할 수 있다.



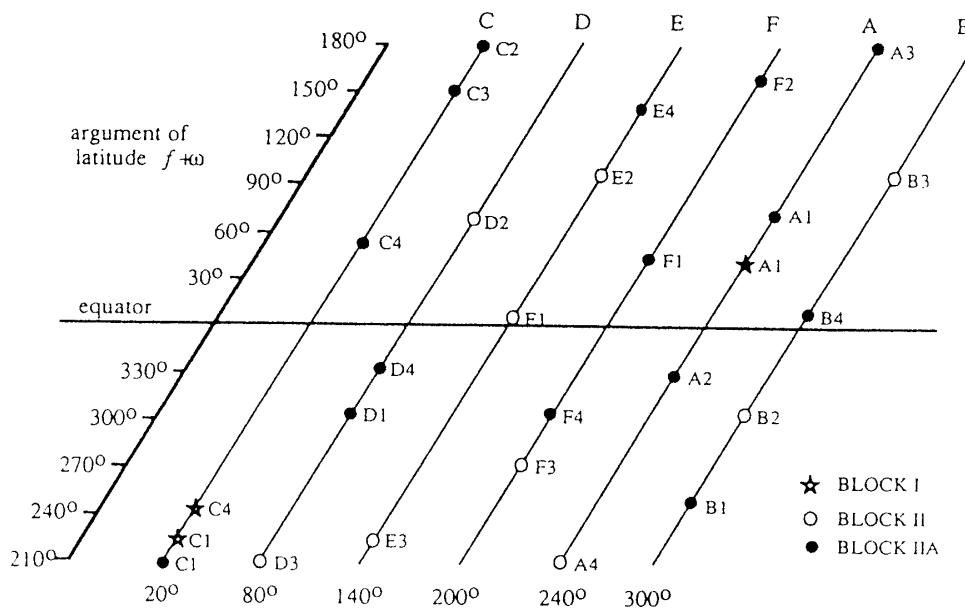
<그림 2-2> GPS 시스템의 구성

1. 우주부분(Space Segment)

우주부분은 현재 30개의 위성이 운영중에 있는데, 각각의 GPS 위성에는 세슘 원자시계와 루비듐 시계가 각각 2대씩 장착되어 정밀한 시간을 유지하고 있으며, 각 위성마다 PRN(Pseudo Random Noise) 코드라 불리는 고유 코드를 발생하고 있어 PRN 코드를 이용하여 위성들을 구분할 수 있다. Block II 위성의 무게는 1667kg이며, 위성의 수명은 7.5년으로 설계되었으나 약 10년까지도 사용이 가능할 것으로 예상된다(Hofmann-Wellenhof et al. 1992). 위성에는 2개의 태양전지판이 있어 약 800W의 전력을 생산하고 있으며, 위성이 지구 그림자에 가리는 식현상이 일어날 경우에는 NiCd 충전지가 전원을 공급하도록 설계되어 있다.

위성의 자세는 자세각 자이로와 지구를 향하고 있는 적외선 감지기에 의하여 3축 안정화방식에 의해 제어되고 있다. 위성의 안테나는 헬릭스 어레이(helix

array)로서 가장 큰 계인은 15dB이며 우측으로 원형편광(right handed circular polarization) 되어 있다(Forsell 1991). GPS 위성은 지상고도 약 20,183 km에서 궤도 이심율이 0.03도 보다 작은 원에 가까운 타원궤도를 돌고 있으며, Block II 위성의 경우 궤도 경사각이 55도이고 Block I 위성의 경우 63도이다. GPS 위성은 <그림 2-3>에 나타난 바와 같이 적도면에 등간격으로 분포된 6개의 궤도면에 각각 4개씩 할당되어 총 24개의 위성으로 구성된다. 현재 Block II 위성이 모두 발사되어 궤도 설계시에 요구된 24개 이상의 GPS위성이 정상 작동 중에 있으므로, 지구상의 어느 장소에서도 고도각 5도 이상에서 최소 4개 이상의 GPS 위성을 항상 관측할 수 있다. 각 궤도면상에 있는 위성은 <그림 2-3>에서 보는 바와 같이 등간격으로 분포되어 있지 않으며 궤도면사이의 이동은 불가능하다. 각 궤도면의 4번째 위성은 예비위성으로 동일궤도면의 위성 고장시 대체하기 위하여 운용중이다.



<그림 2-3> GPS 위성의 궤도 분포도

GPS 위성이 지구를 한바퀴 도는 주기는 태양시로 약 11시간 56분(0.5항성일)이므로 위성이 같은 궤도면내에서 하루에 4분씩 뒤쳐진다. 이것은 GPS 위성의 궤도 주기가 지구의 자전주기와 동기되어 있다는 것을 의미하며, 이와 같은 주기로 인해

지구의 비대칭적인 질량분포가 위성의 궤도에 공명현상을 일으키므로 궤도를 일정범위 안에서 유지시켜야 한다. 이런 사실은 약 1년에 한번씩 궤도보정이 필요하다는 것을 암시하는 것이다. 궤도보정을 위해서는 한 위성에 약 3일씩 걸리며 이 기간 동안에는 위성을 사용 할 수 없게 된다(박, 2001).

2. 관제부분(Control Segment)

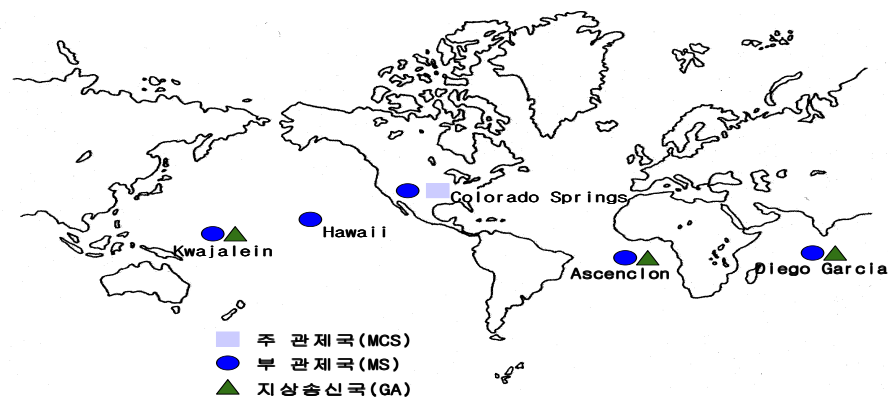
제어부분은 크게 <그림 2-4>와 같이 3부분으로 구성되어 있는데, 여기에는 주 관제국(MCS: Master Control Station)과 무인으로 운영되는 부 관제국(MS: Monitor Station) 및 지상 송신국(GA: Up-link Ground Antenna)이 있다.

주 관제국은 GPS의 전체시스템을 관리하고 통제하는 중심이며, 미국의 Colorado Springs의 펄콘 공군기지에 위치해 있다. 여기에서는 부 관제국으로부터 자료를 받아 위성이 제 궤도를 유지하는데 필요한 모든 처리와 계산을 수행하며 위성의 항법메시지를 만들어 낸다. 항법메시지에는 섭동력(perturbation)이라고 불리는 외부의 힘이 작용할 때 위성의 궤도가 어떻게 변하는가를 나타내는 모델을 사용하여 계산된다. 이 모델에서 고려하는 섭동력에는 태양, 지구, 달의 중력, 태양과 지구의 복사압, 입자들에 의한 마찰력은 물론 상대론적인 양들까지 포함된다. 주 관제국은 GPS time이 UTC와 $\pm 180\text{ns}$ + 윤초의 범위내에서 확률오차 95%로 유지되도록 하며, UTC와의 편차를 항법메시지 안에 포함시키는 임무를 수행한다. 또한 주 관제국은 지상 송신국을 통해 GPS 위성과 끊임없이 접촉하여 모든 임무가 계획대로 수행되고, 모든 매개변수들이 정상적인 범위내에서 유지되도록 감시하고 조치하는 역할을 한다. 주 관제국과 부 관제국, 지상 송신국 사이의 통신은 GPS가 아닌 다른 위성을 이용하여 이루어 진다.

부 관제국은 세계적으로 고루 분포된 5개의 GPS 감시소로 구성되어 있다. 부 관제국의 임무는 모든 신호가 요구사항에 적합한지를 점검하고, 관측되는 모든 GPS 위성을 다중채널 수신기로 추적하여 위성까지의 거리와 거리변화율을 동시에 측정하는 것이다. 거리측정은 세슘 원자시계에 의하여 제어되는 고정밀 2 주파수 수신기와 고도 5도 이상의 모든 위성으로부터 신호를 받는 안테나에 의하여 이루어 진다. 측정된 데이터는 특별한 알고리즘에 의하여 처리되며, 수신기의 알려진 위치와 복조된 항법메시지에 근거해서 위성내 시계의 편차 등을 조사한다.

적도면을 따라 일정한 간격으로 위치하고 있는 3개의 지상 송신국의 임무는 위

성과 S-band(up-link 1783.74MHz, down-link 2227.5MHz)로 통신하여 위성의 작동상태에 관한 자료를 수신하고, 위성을 제어하는 신호와 주 관제국으로부터 받은 새로운 내용의 항법메시지를 매 8시간마다 위성으로 보내는 역할을 수행한다. 1992년 이후에 발사된 신형 Block II 위성은 위성간의 전송기능을 가지고 있어 모든 정보를 주 관제국에서 직접 위성으로 보낼 수 있다.

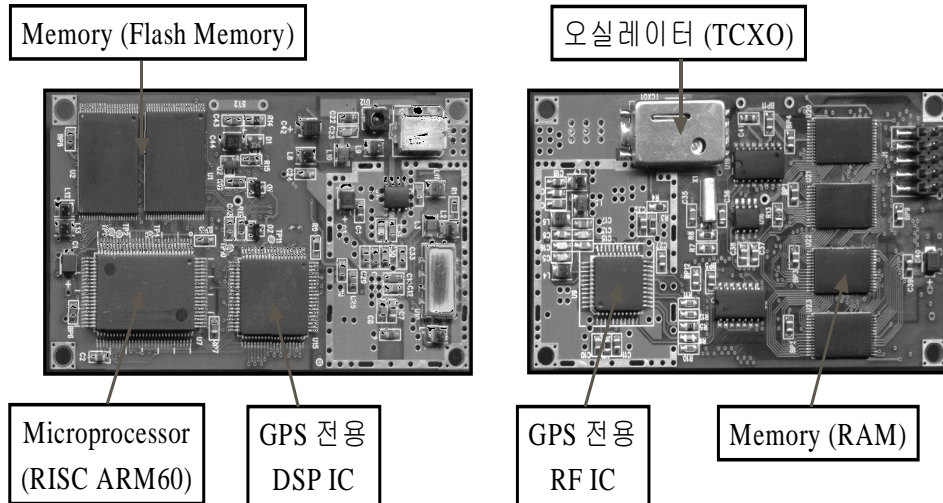


<그림 2-4> GPS 지상시스템

3. 사용자 부문(User Segment)

GPS의 사용자 부문은 GPS 위성신호를 수신하여 계산하는 <그림 2-5>와 같은 GPS 수신기 및 이를 응용하여 각각의 특정한 목적을 달성하기 위해 개발된 다양한 단말기(equipment)들로 구성된다. 수신기에 연결되는 GPS 안테나는 미약한 전파신호를 증폭하여 수신단에 전달해 주며 수신기 자체에 내장된 알고리즘으로 GPS 위성신호를 추적하게 되는데, 하나의 위성 신호만 추적하면 그 위성으로부터 다른 위성들의 위치에 관한 정보를 얻을 수 있으므로 짧은 시간내에 모든 가시(visible) 위성 신호들을 추적할 수 있다. GPS 수신기는 위성으로부터 수신한 항법 자료를 사용하여 사용자의 위치 및 속도를 계산하게 되는데, 이는 기본적으로 이동체 항법 및 추적에 이용되며, 백만분의 1초 정도의 정확도로 계산된 수신기의 시계오차는 이동통신(mobile communication) 분야에 있어서 매우 중요한 시각 동기화(time synchronization)를 위한 정보로도 유용하게 사용된다. GPS는 또한 일반적인 항법시스템 이외에도 높은 위치 정확도가 요구되는 항공기 자동 착륙시스템, 측지, 이동체의 자세 결정 및 정밀측위(precise survey)에도 적용될 수 있으므로

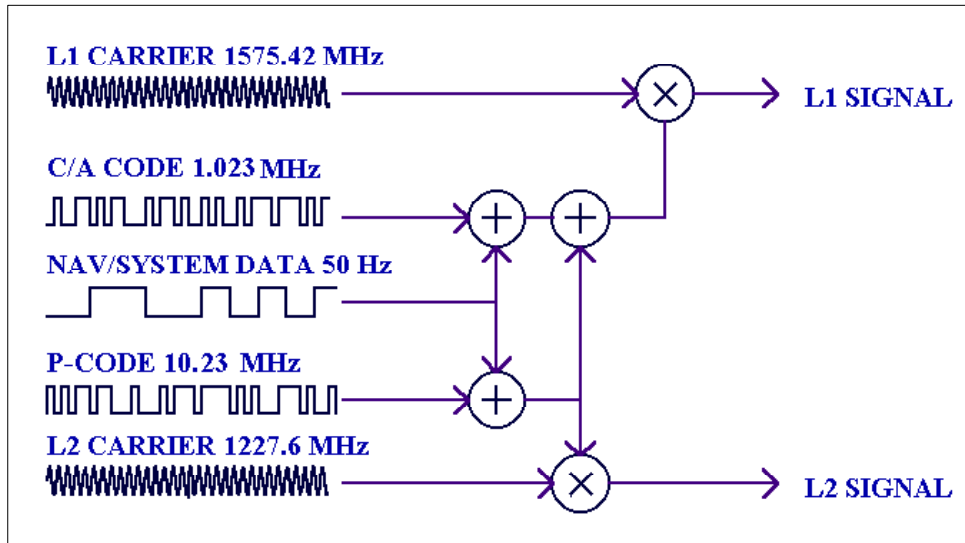
매우 광범위한 응용 범위를 지닌다.



<그림 2-5> GPS 수신기 내부구조

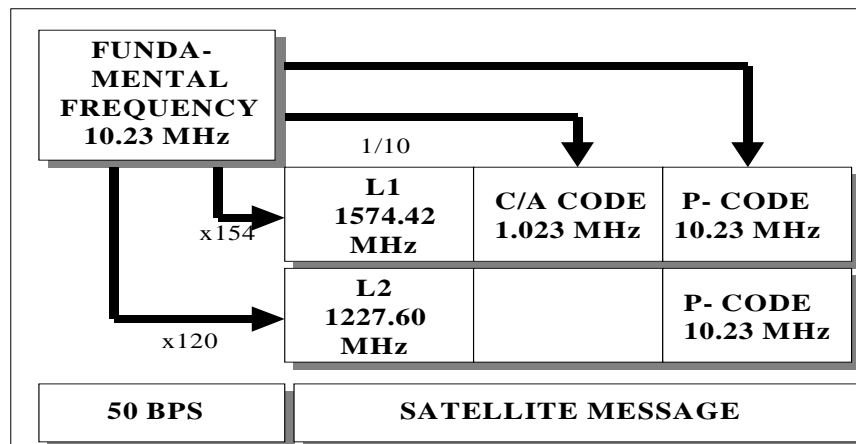
2.1.3 GPS의 신호체계

GPS 위성은 사용자가 전파의 전리층 지연을 보정할 수 있도록 L1(1575.42 MHz)과 L2(1227.6 MHz) 주파수에서 두개의 반송파를 전송하고 있다(그림 2-6> 참조). 이들 반송파는 어느 하나의 위상이 다른 반송파의 위상으로부터 유도될 수 있도록 설계되어 있으며, 두 주파수의 비는 154/120이다. 반송파는 초당 50비트로 산출되는 위성의 항법메시지 신호와 C/A, P 코드가 결합된 확산스펙트럼 신호로 구성되며 1/4 위상차로 bi-phase 변조되어 있다.



<그림 2-6> GPS 위성의 신호변조 방식

L1 반송파에는 C/A, P 두 가지 코드가 실려 있고 L2 반송파에는 P 코드만이 실려 있으며, 항법메시지 신호는 두 가지 반송파에 모두 실려 있다. GPS의 모든 신호는 위성에 장착된 세슘 원자시계에 의하여 발생하는 기본 주파수 10.23 MHz를 기준하여 만들어진다. <그림 2-7>은 GPS 위성의 신호 구조를 요약한 것이다.



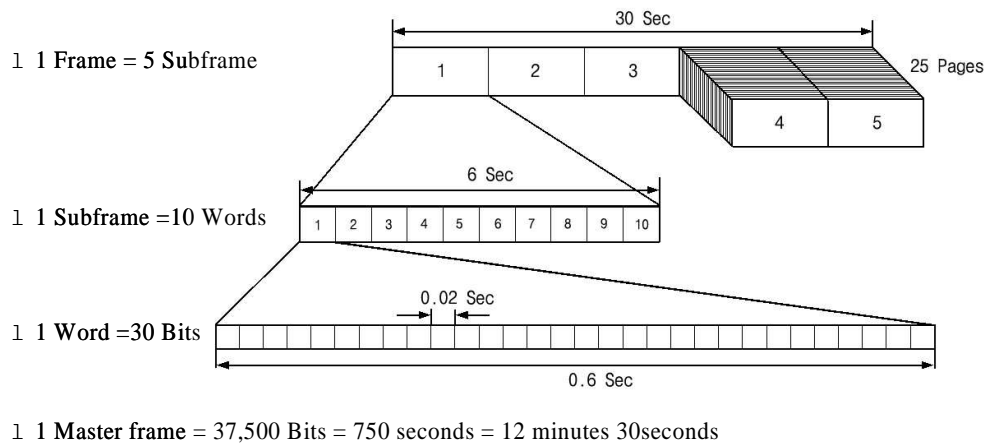
<그림 2-7> GPS 위성의 신호구조

L1, L2 반송파에 중첩되는 정보는 PRN(Pseudo-Random Noise)부호와 항법메세지(navigation message)로 이루어진다.

PRN 부호는 각 위성마다 유일한 값을 가지도록 설계되었으며, 이진 부호로 구성되는데 매우 길고 복잡하기 때문에 신호 자체만 보았을 때는 의미를 파악할 수 없다. 사실상 PRN 부호는 어떠한 정보를 담고 있는 것이 아니라, 이름에서 알 수 있듯이 정교한 규칙성을 갖고 만들어지나 언뜻 보기에는 불규칙한 이진 수열로써 위성까지 거리를 측정하는데 사용된다.

C/A(Coarse/Acquisition) 부호는 민간신호라고 불리며 특별히 허락 받지 않은 개인이나 단체도 이용할 수 있으나, P 코드는 주로 군용으로 사용되며 신호의 암호화가 이루어져 민간에서는 사용할 수 없다.

위성의 항법메시지 신호에는 위성시계의 시각보정 정보와 궤도력 정보 외에 다른 위성들에 대한 대략의 궤도정보(almanac)가 함께 수록되어 있다. 50 bit/sec로 변조된 항법메시지는 25개의 프레임으로 구성되어 있으며, 각 프레임은 5개의 하위프레임(subframe)으로 구분되고, 각 하위프레임은 30비트인 10개의 워드로 이루어져 있다. 하위프레임 4번과 5번은 같은 형식을 가진 25 페이지로 각각 구성되어 있어 하위프레임 1, 2, 3번의 내용은 변동 없이 이들 페이지가 순서대로 25번 반복된 후에 전체 25개 프레임의 항법메시지가 완성된다. 하위프레임의 데이터 길이는 6초로서 한 프레임의 길이는 30초이며 완전한 항법메시지를 모두 받기 위해서는 12분 30초가 소요된다. <그림 2-8>은 항법메시지의 구조와 각 하위프레임에 수록된 정보의 내용을 요약한 것이다.



Subframe 1

**Correction
Parameters for
Time and Ionosphere**

Subframe 2 + 3

**Satellite Ephemeris
Updated every hour**

Subframe 4

**Alphanumeric
Coded Messages**

Subframe 5

**Almanac Data
of 1 satellite**

<그림 2-8> GPS 위성의 항법 메시지 구조와 내용

최근 미국은 GPS 현대화 계획의 일환으로 새로운 민간 신호의 추가적 서비스를 준비하고 있다. 세 번째 민간신호 L5와 L2 주파수에 C/A코드를 부가한 L2C는 각기 다른 주파수에 실려 민간에게 제공될 예정이다(<그림 2-9> 참조). 특히, 1.17GHz대의 L5 주파수는 ARNS(Aeronautical Radio Navigation System)에 할당된 주파수대역의 한 부분으로 항공기의 안전한 운항을 위하여 사용될 예정이다.

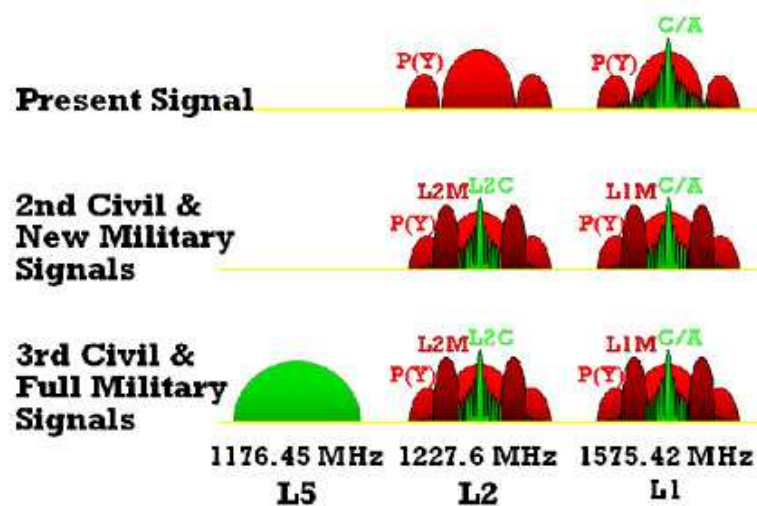
2005년에 발사된 GPS Block IIF 위성에 처음으로 장착될 L5 신호는 2010년에 민간 서비스를 시작하여 2015년에 완전한 서비스가 이루어질 것이다. L5 신호는 현재 존재하는 어떤 전파에도 영향을 받지 않는 주파수 영역대

를 사용하고 L1보다 출력이 24dBW 강한(-154dBW) 장점이 있다. 따라서 세 번째 GPS 민간신호 L5를 이용함으로써 민간 사용자는 향상된 측위 정확도와 안정적인 측위 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

(<표 2-1> 및 <그림 2-9>참조).

<표 2-1> L5와 L2C 신호정보

신호	L1	L2C	L5
주파수(MHz)	1,575.42	1,227.60	1,176.45
Error 보정기능	없음	있음	있음
서비스 시기	현재	~ 2011	~ 2015
장착위성	Block IIR Block IIR-M Block IIF	Block IIR-M Block IIF	Block IIF



<그림 2-9> L2C 및 L5 신호 구조

2.1.4 GPS 위치측정의 기본원리

GPS는 위성을 이용한 범 지구적 측위시스템으로 정확한 위치를 알고 있는 위성에서 발사된 전파가 지상의 수신기에 도달하는 시간을 계산함으로써 관측점까지의 위치를 구하는 Time Navigation System이다.

관측점의 위치좌표(X,Y,Z)는 원칙적으로 3개의 위성에서 발사된 전파를 수신함으로써 얻어질 수 있으나 이 경우는 위성의 시계와 수신기의 시계가 정확하게 일치하여야만 한다. 위성에 탑재되어 있는 원자시계는 1일에 nano sec(전파의 전달거리로 약 3m 정도) 오차범위에서 예측이 가능하며, 미국의 Colorado Springs에 위치한 Navstar Control Center(NCC) 지상국에서 시계의 상태 및 위성의 궤도 등을 조절할 수 있다.

그러나 현실적으로 위성에 탑재되어 있는 고가의 원자시계를 수신기에 장치할 수 없으므로 위성과 수신기간의 시간편위를 미지수로 처리하여 4개의 위성을 이용하여 4개의 연립방정식을 풀어서 좌표와 정밀 시간을 결정한다.

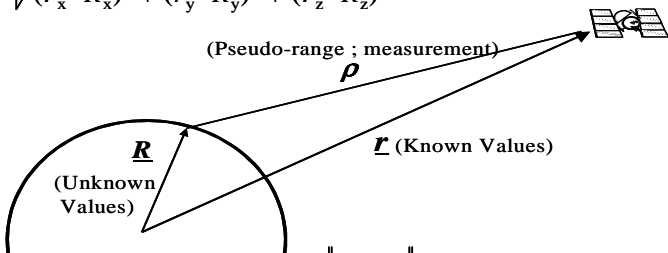
GPS의 위치 확인은 고전적인 삼각측량을 약간 변형시킨 형태로 이루어진다. 일반적인 삼각측량은 한번의 길이와 대상물 사이에 이뤄지는 두 각을 이용해 계산되지만 GPS의 삼각측량은 수신부와 지구중심의 거리, 위성과의 거리와 각을 이용해 계산된다. 위성은 항상 L1 주파수에 C/A(Coarse Acquisition) 코드라 불리는 특정한 신호를 실어서 방송하고 있고, GPS 수신기에서도 똑 같은 코드를 발생시켜 수신된 위성의 코드와 비교해 위성의 신호가 위성을 떠나 수신기까지 도달하는데 소요된 시간을 측정한다. 다시 말하면 “전파속도 X 소요시간”으로 위성과 수신기간의 거리를 측정한다.

GPS의 기본적인 위치확인에는 다음의 4단계 과정을 거친다. 첫째로 최적 배치 위치추적으로써 위성과의 거리를 계산하기 전에 수신기는 먼저 수신 가능한 위성의 신호들을 모두 수신한다. 각 위성은 고유의 식별신호를 가지고 있고 이를 바탕으로 전파의 수신감도, 배치상황 등을 고려해 위치확인에 필요한 위성을 선택한다. 과거에는 위치확인을 위해 4개의 위성을 사용했으나 위성궤도 오차를 줄이기 위해 최근의 수신기 중에는 12개 정도의 위성

을 사용하는 고성능 제품도 나오고 있다. 두 번째 단계는 각 위성과 수신기 간의 거리측정으로써 설정된 위성과의 거리를 앞서 설명한 신호도달 시간 차에 의한 방법으로 계산한다. 각 위성과의 거리 계산을 지연 없이 동시에 처리해야 되기 때문에 수신기측의 높은 계산능력이 요구된다. 셋째로 실제 위성의 위치는 궤도면상에 정확히 일치해 존재하는 것은 아니며 어느 정도의 거리상 오차를 지니고 있다. 그리고 내장된 원자시계의 타이밍 오류에 의해 오차가 발생할 수 있다. 이러한 오차는 주관제소에서 상황별 지연량을 예측해 코드 정보와 함께 방송하므로 수신기는 측위 계산시 이를 보정해 오차를 줄인다. 넷째로 앞의 3가지 방법을 통해 얻어진 위성별 실측 데이터를 이용하여 신뢰성(수신 C/A코드의 정확성, 수신감도)과 위성배치 상태를 판단해 현재 위치를 결정한다. 4개의 위성 사용시 실제 오차범위는 30m 이내이며 8개의 위성을 사용할 경우 측량에는 10m 이내의 정확성을 가질 수 있다.

결론적으로 관측지점의 순간 위치를 GPS로 측정하는 경우, 즉 GPS를 항법에 사용할 때 위치측정의 개념적인 기본원리를 <그림 2-10>에 나타내었다. <그림 2-10>에서 지구중심으로부터 위성까지의 거리벡터 \underline{r} 은 위성에서 보내 오는 위성의 항법메시지를 수신하여 알 수 있고, 관측지점으로부터 위성까지의 거리 ρ 는 위성에서 보내는 전파신호가 관측자에게 도달하는데 걸리는 시간을 측정하여 광속도를 곱하여 주면 측정할 수 있으므로, 지구중심으로부터 관측지점의 위치벡터 \underline{R} 을 식(2-1)에 의하여 결정할 수 있다.

$$\underline{R} = \underline{r} - \rho \quad (2-1)$$

$$\begin{aligned} \rho &= \|\underline{r} - \underline{R}\| \Rightarrow \text{NEED THE 3 SVs} \\ &= \sqrt{(r_x - R_x)^2 + (r_y - R_y)^2 + (r_z - R_z)^2} \end{aligned}$$


$$\begin{aligned} \rho &= \|\underline{r} - \underline{R}\| + \text{Clock Bias} \Rightarrow \text{NEED THE 4 SVs} \\ &= \sqrt{(r_x - R_x)^2 + (r_y - R_y)^2 + (r_z - R_z)^2} + C_b \end{aligned}$$

<그림 2-10> GPS 위치측정 기본원리

그러나 관측자는 수신기에서 위성까지 거리 ρ 를 정확하게 측정할 수 없다. 그 이유는 전파가 도달하는데 걸리는 시간을 수신기에서 측정한 경우, 이 측정값에는 수신기와 위성의 시계오차를 비롯한 여러가지 오차가 포함되어 있기 때문이다. 따라서 수신기가 측정하는 거리는 식(2-2)와 같은 의사거리(pseudo range) ρ 가 된다.

$$\rho = |\mathbf{r} - \mathbf{R}| + c(dt - dT) + d_{ion} + d_{trop} \quad (2-2)$$

여기에서 dt 는 수신기 시계의 오차, dT 는 위성시계의 오차, d_{ion} 과 d_{trop} 는 각각 이온층과 대류층에 의해 전파가 지연되는 효과에 의한 거리오차이다. 식(2-2)는 관측자의 좌표를 나타내는 \mathbf{R} 벡터의 3성분과 2개의 시계오차, 이온층과 대류층에 의한 오차를 포함하여 7개의 미지수를 가지고 있다. 그 중에서 위성의 시계오차 dT 는 위성의 항법메시지를 통하여 알 수 있고 이온층과 대류층의 오차는 각각의 모델이나 항법메시지에 실린 이온층보정 정보를 이용하여 알 수 있다. 따라서 식(2-2)에는 아직도 4개의 미지수가 남게 된다.

이들 미지수는 관측자가 4개의 위성으로부터 동시에 4개의 의사거리 ρ_i 를 측정할 수 있으면 식 (2-3)을 이용하여 구할 수 있다.

$$\rho_i = \sqrt{(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2 + (z_i - Z)^2} + cdt \quad i = 1, \dots, 4 \quad (2-3)$$

식(2-3)에서 x_i, y_i, z_i 는 \mathbf{r} 벡터의 직교성분으로서 위성의 항법메시지에 실린 정보를 통해 알 수 있는 값이고, X, Y, Z 는 여기서 구하고자 하는 미지수인 관측자의 좌표로서 \mathbf{R} 벡터의 직교성분이다. 식(2-3)을 최소자승법을 이용하여 풀면 관측자의 좌표 X, Y, Z 와 수신기의 시계오차 dt 를 구할 수 있게 된다.

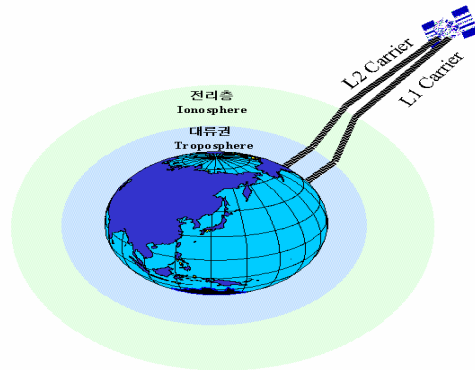
2.1.5 GPS의 오차요인

GPS 수신기는 기본적으로 의사거리(pseudorange)와 반송파 위상(carrier phase)이라는 양을 측정하게 되는데, 이는 수신기 내부의 시계에 의해 측정되는 위성과의 단방향 거리 값이다. GPS 수신기에서 결정된 의사거리 값은 GPS 신호가 위성으로부터 수신기에 도달할 때까지의 오차들이 포함되며, 이러한 위치결정 오차로 작용하는 요소들은 다음과 같이 크게 3부분으로 나눌 수 있다. 첫째 구조적 요인으로 생기는 오차로는 위성의 시계오차 및 위치오차, 이온층과 대류층의 굴절, 잡음(Noise), 다중경로(Multipath) 등이 있다. 두 번째로는 위성의 배치상황에 따른 기하학적 오차가 있으며, 마지막으로 가장 큰 오차원인인 SA(Selective Availability)가 있다(<그림 2-11> 참조). 이들 요소들이 모두 잠재적으로 합쳐져서 매우 큰 오차 결과를 낳는데 이것을 UERE(User Equivalent Range Error)라고 한다. 각 오차들은 시간과 장소에 따라서 매우 크게 변한다. 다음은 각 오차들의 크기를 나타낸 것이다

C/A 코드 경우 모든 오차가 합쳐진 수평오차는 SA가 작동하지 않는 경우는 28m이고 작동하는 경우에는 100m이다

- Satellite clock error(위성시계오차) - 위성에 탑재된 시계의 오차(SA포함)
- Ephemeris error(궤도력오차) - 위성의 위치오차
- Ionospheric error(전리층오차) - 전리층에 의해 발생된 오차
- Tropospheric error(대류층오차) - 대류층에 의해 발생된 오차
- Multipath error(다중경로오차) - 주변 장애물의 반사에 의한 오차
- Receiver error(수신기오차) - 수신기의 열잡음이나 채널간 간섭에 의한 오차

구 분	오차범위
위성 시계오차	0 ~ 1.5m
위성 궤도력 오차	1 ~ 5m
전리층 오차	0 ~ 30m
대류층 오차	0 ~ 30m
정밀도 저하조치(SA)	0 ~ 70m
수신기 잡음	0 ~ 10m
다중경로 오차	0 ~ 1m
Total Error	
SA On 시	~ 100m
SA Off 시	~ 16m



<그림 2-11> 전리층과 대류층의 굴절

1. 구조적 오차

가. 위성 시계 오차

위성시계 오차는 미 공군에서 계속 감시하고 오차를 매 시간마다 보정해 주기 때문에 다른 오차들에 비하여 상대적으로 적은 편이다. 그러나 C/A코드와 P코드 사용자 모두에게 같은 방식으로 영향을 미친다. 이 효과는 위성의 방향에 무관하며 모든 사용자에게 동등한 오차를 제공하게 된다. 따라서 고정밀 자료처리에는 차분보정(differential correction) 방식을 이용하여 이 오차를 제거할 수 있다.

GPS 위성에 장착된 세슘 또는 루비듐 원자시계는 하루에 10^{-13} 정도의 안정도를 가지므로 하루 동안에 약 10^{-8} 초 정도의 오차가 발생하며, 이를 거리로 환산할 경우 약 3.5m의 거리결정 오차에 해당한다.

항법메시지에 포함된 위성의 시계오차는 지상의 Master Control Station에서 Clock Model을 이용하여 추정된 값으로 사용자는 추정된 모델 계수를 이용하여 위성 시계오차를 추정하여 제거하게 된다. 이 과정에서 추정에 사용한 Model과 실제 위성 시계 사이에는 차이가 존재하게 마련이며 이 때문에 제거할 수 없는 위성 시계오차가 발생한다. 그러나 위성은 매우 정확한 원자시계가 탑재되어 있어 이 오차의 크기는 2 m 미만이다.

특히, 위성의시계 오차는 DGPS를 이용하면 제거가 가능하다.

나. 위성 궤도 오차

위성 궤도력 오차는 신호를 전송하는 GPS 위성의 메시지에 수록된 해당 위성의 지구중심 위치정보가 정확치 못하는데서 발생한다. 일반적으로 위성의 위치성분 중 radial 방향의 오차성분은 적은 반면, tangential 방향과 cross-track 방향 성분의 오차는 radial 성분의 오차보다 크다. 위성의 위치정보 오차는 지상 관제국에서 위성에 전송한 정보력의 기준시각에 의해 영향을 받게 된다. 위성의 궤도력은 기준시각이 오래 지날수록 위치결정에 미치는 영향이 커지게 되는데, 궤도력에 의한 위치결정 오차성분은 시간에 따라 천천히 변화하는 양상을 나타낸다. 수 mm급의 고정밀 자료처리를 위해서는 위성에서 방송되는 궤도력을 사용하지 않고 IGS(International GNSS Service)국 등 국제기구에서 제공하는 정밀궤도력(precise ephemeris)을 사용하여야 한다.

항법 메시지로 전달되는 궤도 정보는 그 자체가 추정된 값으로 항상 오차가 포함되어 있다. 즉, 사용자측에서 궤도정보를 이용하여 추정한 위성 궤도와 실제 궤도와는 차이가 발생하게 된다. 이러한 이유로 인해 측정된 의사거리에는 위성의 위치오차벡터를 위성-수신기간 시선벡터 방향으로 정사영된 크기만큼의 오차가 발생하게 된다.

위성 궤도 오차는 DGPS를 이용하면 일반적인 커버리지 안에서 실시간으로 1 m 이내로 보정이 가능하다.

다. 전리층 오차

GPS 신호는 약 50~1,000km에 위치한 전리층에 존재하는 자유전자(free electron)의 영향을 받아 이 영역을 통과할 때 진공중의 빛의 속도인 $2.99792458 \times 10^8 \text{ km/sec}$ 로 이동하지 못한다. GPS의 변조신호는 이동 중에 조우하는 자유전자의 수에 비례하고 반송주파수의 제곱에 반비례하여 지연된다. 일반적으로 전리층은 안정적이며 그 성질이 잘 알려져 있지만 적도나 극지방에서는 심각한 변동을 보인다. 전리층 신호지연에 따른 의사거리 보정방법은 다음과 같이 세 가지 종류가 있다.

- 1) GPS 시스템 자체에서 제공하는 전리층 모델을 사용한다. 이 경우 필요한 변수값들은 GPS 위성에서 지속적으로 방송되는 항법메시지로부터 획득

할 수 있으며, 전리층에 의한 오차는 일반적으로 낮에는 20~30 m, 밤에는 2~3 m 정도다. SA가 제거된 이후 가장 큰 오차 요인으로 비중이 높아졌으며 일반적으로 2-5m의 거리결정 오차를 유발시킨다.

2) 이중주파수 P-code 수신기를 사용하여 GPS의 두 주파수 대역에서 신호를 동시에 수신하고, 관측값을 이용하여 직접 전리층에 의한 지연을 계산하는 방법이 있다. 이 방법을 이용할 경우 전리층에 의한 오차를 1-2m 정도까지 줄일 수 있다.

3) L1, L2 반송파의 조합을 통해서 이 오차를 제거하는 방법이다. 이 방법은 고정밀 자료처리 시에 주로 사용한다.

이중 주파수 수신기를 사용하는 경우에는 L1, L2 주파수의 반송파 도착 시간 차이를 이용하여 단독으로 오차 보정이 가능하다. 단일 주파수 수신기의 경우에도 위성의 항법 메시지로 전송되는 파라미터를 이용하여 Klobuchar model에 적용하여 제거하는 방법이 있지만 약 60%정도의 오차만 제거가 가능하다.

기준국으로부터 일정 범위 내(100km 이내)에서는 DGPS를 통해 보정이 가능하다.

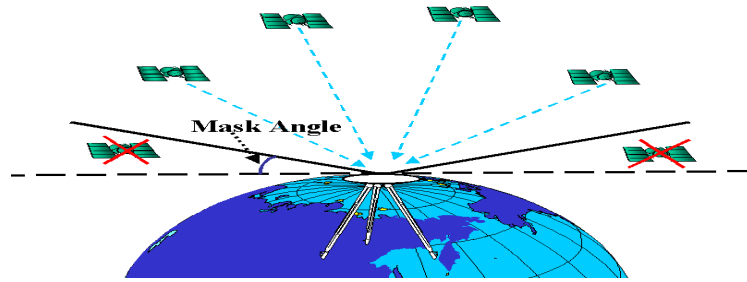
라. 대류층 오차

우리가 일반적으로 대기라고 생각하는 8~16km 대류층의 온도, 압력 및 습도의 변화는 전파의 진행속도 변화에 영향을 미친다. 이는 GPS 신호(code)와 반송파(carrier) 모두를 지연시키며, 단순한 모델을 이용한다 하더라도 1m 이내의 정밀도로 충분히 오차를 보정할 수 있다. 고정밀 자료처리에서 이 오차는 완전히 제거될 수 없다. 따라서 mm급의 자료처리에서 영향을 가장 많이 미칠 수 있는 오차 원인이다.

대부분 수신기는 사용자 입력으로 수평선 위로 어느 각도 밑에 있는 위성으로부터 오는 신호는 무시하도록 되어 있다. 이 각도를 <그림 2-12>와 같은 "Mask Angle" 이라고 한다. 이것의 단점은 Mask Angle이 너무 높게 입력된 경우에는 최소 필요한 4개의 위성에 미달될 수도 있다. 대부분 Mask Angle은 10-20도 정도로 유지되게 설정되어 있다.

대류층 지연의 크기는 낮은 양각에 대해서 30여 m까지 커질 수 있지만, 측정된 기상 정보를 이용하여 모델을 적용하면, 0.1 m 이내로 오차를 제거할 수 있다.

그러나 이 오차는 DGPS를 통해서도 보정이 가능하다.

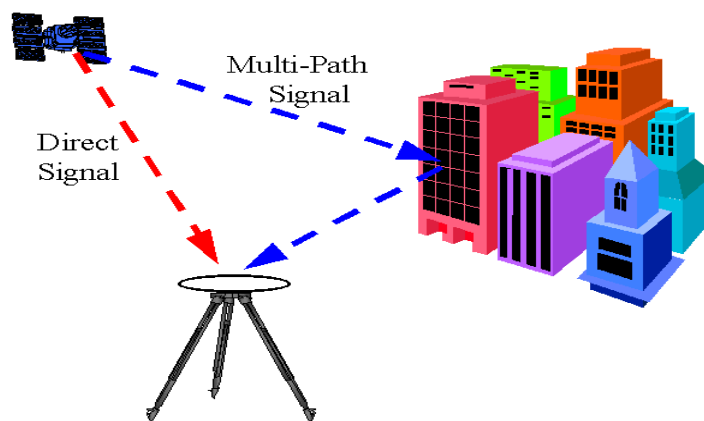


<그림 2-12> 위성의 Masking Angle

마. 다중경로 오차

다중경로 오차는 GPS 위성의 신호가 GPS 안테나 가까이 있는 벽 등에 의해 반사되어 발생한다(<그림 2-13>참조). 이 오차는 관측지점의 주변 환경에 밀접한 연관이 있는 오차이므로, 특히 GPS 감시국이나 기준국은 가능한 한 이 오차가 발생하지 않는 장소를 선택하여야 한다. 이 오차를 줄이는 방법은 안테나의 수신각과 관측지점의 위치선정을 적절히 조합하는 외적인 방법과 거리측정을 결정하는데 있어 다중경로 오차의 영향을 최소화하기 위하여 개발된 narrow correlator 기법을 사용하는 내적인 방법이 있다. 이 오차는 Choke Ring 안테나 등을 사용하여 대부분 제거할 수 있는데, 반송파 위상의 경우 수 cm정도, 의사 거리 측정치의 경우 수 m까지 오차가 발생할 수 있다.

이 오차의 경우는 적절한 장소 선정과 하드웨어(수신기/안테나) 설계로 오차를 줄일 수 있으며 DGPS 등의 보정방법으로는 제거가 불가능하다.



<그림 2-13> 다중경로 오차

바. 수신기 오차

매우 약한 신호와 간섭을 일으켜서 수신기 내부에서 발생하는 오차로서 수신기 회로 상에서 지연효과 등과 같은 하드웨어적인 오차 원인과 위치결정 알고리즘 및 처리효율에 따른 소프트웨어적인 오차 원인이 존재한다. 이런 여러 원인에 의한 수신기 자체의 총 오차는 0.5m 이하의 bias와 0.2m 이하의 random noise를 보인다. 고정밀 자료처리시 이 오차는 완전히 제거되지 않으나 차분법을 통해 상당부분 제거될 수 있다. 이것 역시 사용자에 따라 다른 오차 요인으로 DGPS 등으로는 보정이 불가능하다.

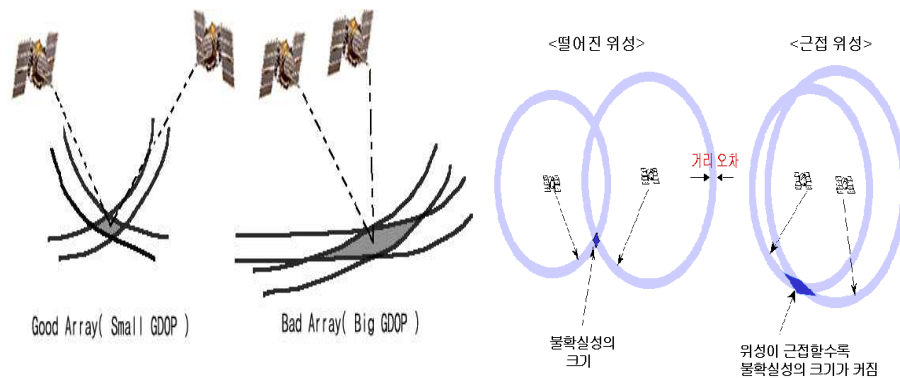
2. 기하학적 오차

측위시 이용되는 위성들의 배치 상황에 따라 오차가 증가하게 되는데 이는 육상에서 독도법으로 위치를 계산할 때 적당한 간격의 물표를 선택하여 독도법을 실시하면 오차삼각형이 적어져서 위치가 정확해지고, 몰려있는 물표를 이용하는 경우 오차삼각형이 커져서 위치가 부정확해지는 것과 마찬가지로 수신기 주위로 위성이 적당히 고르게 배치되어 있는 경우에 위치의 오차가 작아진다.

수신되고 있는 위성의 배치 분포 정도를 DOP(Dilution of Precision) 이라고 한다. DOP의 값은 2보다 적은 경우는 매우 우수한 경우이고, 2-3 값을 가지면 우수, 4-5 값을 가지면 보통이고, 6 이상이 되는 경우의 자료는 효용가치가 없다.

DOP의 종류는 여러 가지가 있지만 가장 많이 사용되는 것은 PDOP(Positional DOP)라고 한다. GPS 수신기는 관측된 데이터를 이용하여 PDOP를 계산하며, 이를 거리오차에 곱하면 측위오차가 된다.

즉, (거리오차 : Range Error) \times (PDOP) = (측위오차)가 된다(<그림2-14> 참조).



<그림 2-14> GPS 위성의 배치

따라서 대부분의 수신기는 PDOP이 작은 위성의 조합을 선택하여 측위계산을 하고 이를 표시하도록 설계되어 있다. 최근 수신기의 성능이 좋아서 PDOP이 3인 경우 위치오차는 대략 15m CEP(Circular Error Probability), 즉 50% 오차확률의 범위에서 평면으로 약 15m 정도이다.

이는 GPS 신호(code)와 반송파(carrier) 모두를 지연시키며, 단순한 모델을 이용한다 하더라도 1m 이내의 정밀도로 충분히 오차를 보정할 수 있다. 고정밀 자료처리에서 이 오차는 완전히 제거될 수 없다. 따라서 mm급의 자료처리에서 영향을 가장 많이 미칠 수 있는 오차 원인이다.

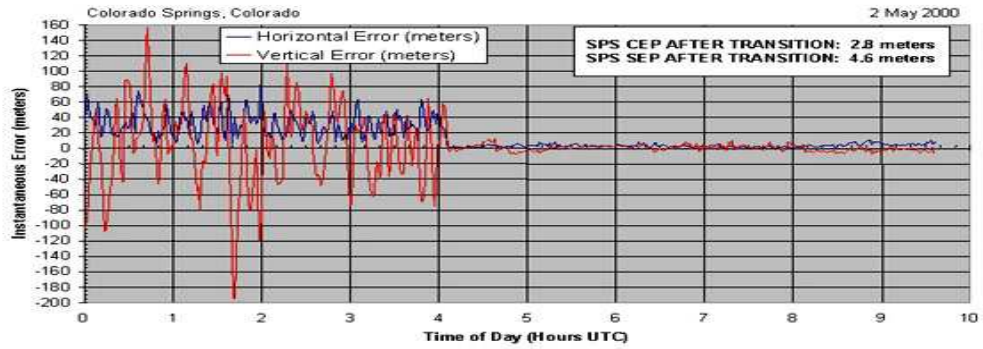
3. 임의 오차(SA, Selective Availability)

SA는 오차요소중 가장 큰 오차의 원인이다. 일반 사용자들이 일정 한도내로 정확성을 얻지 못하게 하기 위해 고의적으로 위성의 시간에도 오차를 집어 넣어서 95% 확률로 최대 100m까지 오차가 나게 만든 것을 말한다.

1996년 3월 29일 클린턴 대통령은 4년이내에 SA의 작동은 영원히 중지될거라고 발표했었다. 그리고 2000년 5월 1일 자정(Washington DC Time, USA)을 기해 미 국방성이 GPS 위성 신호의 궤도와 시계정보를 고의적으로 조작한 의도적 정밀도 저하 조치 SA를 해제함에 따라 위치정확도가 향상되었다(<그림 2-15> 참조). SA제거 이후 수평 오차는 13 m 이하(95%), 수직 오차는 22 m 이하(95%)로 크게 향상된 것으로 나타났다.



SA Transition -- 2 May 2000



<그림 2-15> GPS의 SA 제거후 정확도 비교

2.2 위성항법보정시스템(DGPS)의 개요

2.2.1 DGPS의 개념

GPS는 다양한 분야에서 폭 넓게 이용되고 있지만 몇 가지 취약점을 갖고 있다. 첫째로, GPS의 경우 고의적인 오차를 없애기는 하였으나 미 국방성은 유사시 이를 재개할 수도 있다는 개연성이 있어 미국을 제외한 국가들에게는 신뢰성 확보가 지속적인 문제가 되고 있다. 둘째, GPS 자체로는 GPS의 오작동을 알 수 없기 때문에 안전이 중시되는 항법분야에서는 고장이나 오작동시 GPS 이용자에게 경고를 하여주는 무결성 기능이 추가적으로 필요하다. 셋째, GPS의 신호가 미약한 편이므로 TV전파나 각종 유해 전파에 간섭을 받기 쉽고, 옥내나 빌딩의 그늘 또는 밀림지역에서는 GPS 신호를 수신하기 어렵다는 단점을 가지고 있다.

즉 GPS 단독으로 사용할 경우 앞서 언급한 여러 가지 다양한 원인들로 인하여 발생하는 오차 때문에 만족할 만한 정확한 위치 정확도를 얻지 못할 경우가 있다. 특히 오차요인 중 없어진 SA와 사용자 측의 오차요인인 다중 경로오차 및 수신기 관련 오차를 제외한 나머지가 오차요인의 대부분을 차지할 뿐 아니라, 그 특성상 특정 지역에서의 상관성이 매우 높다. 이러한 문제를 해결하여 높은 위치 정확도가 요구되는 분야에 GPS를 사용할 수 있도록 보강해 주는 시스템으로 등장한 것이 위성항법보정시스템(DGPS) 이다.

GPS 신호의 C/A 코드만 사용할 경우 6~20m 보다 좋은 정밀도로 위치를 결정하는 것은 현실적으로 불가능한데, 이것은 수신기로 측정하는 위성까지의 거리 자료에 여러가지 오차 요인이 복합적으로 영향을 미치기 때문이다. 그러나 만약 어떤 제 2의 장치가 수신기 근처에 존재하여 지금 현재 수신한 자료가 얼마 만큼의 오차를 내포하고 있는가를 수신기에게 알려줄 수만 있다면 위치결정의 오차를 극소화 시킬 수 있는데 바로 이 방법이 DGPS라고 불리는 기법이다. 이 기법은 이동하는 물체에 있어서는 수 m, 정지한 대상에 대해서는 1m 이내의 위치측정이 가능하다(Forssell 1991).

1983년 미국 해안경비대(USCG, U.S. Coast Guard)와 교통부(DOT, Department of Transport)의 교통시스템센터(TSC, Transportation System Center)에 의해서

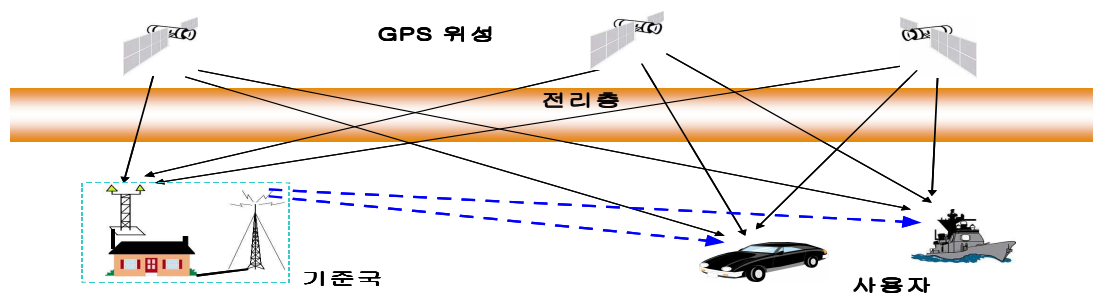
개발된 해양용 DGPS(M-DGPS, Maritime DGPS)의 최초 목적은 해안을 항해하는 선박의 안전을 제공하기 위해 설계되었다. 또한 1986년에는 RTCM SC-104(Radio Technical Commission for Maritime Service, Special Committee 104)에서는 해양용 DGPS에서 사용될 보정자료의 전 세계적 공통 포맷을 결의하고 해양용 DGPS 서비스를 제공하기 시작하였다.

또한, 1984년에는 국제항로표지협회(The International Association of Marine Aids to Navigation & Lighthouse Authorities: IALA)의 전파항해위원회에서는 새롭게 등장한 GPS의 도입을 통한 해양용 DGPS 시스템의 기초를 형성하게 되었다(Franko *et al.*, 1998).

2.2.2 DGPS의 원리

DGPS의 기본적인 원리는 정확한 위치를 알고 있는 기준국에서 GPS 신호를 수신하여 산술적으로 계산된 거리와 의사거리를 비교하여 위성별 해당 오차 정보를 사용자에게 제공하는 것이다. 이들 오차 요인은 기준국 신호의 이용범위(일반적으로 100km 이내까지만 유효)안에서 강한 상관성을 가지고 있으므로 사용자는 전달받은 오차 정보를 이용하여 자신의 측정치에서 오차를 제거하여 보다 정확한 자신의 위치를 구할 수 있다. 그러나 DGPS는 사용자와의 상대적 거리 변화가 고려되지 않는 의사거리 보정치의 스칼라량을 사용하므로 기준국으로부터 거리가 멀어질수록 성능이 떨어지게 된다.

<그림 2-16>은 이러한 DGPS의 개념도를 나타낸 그림이다.



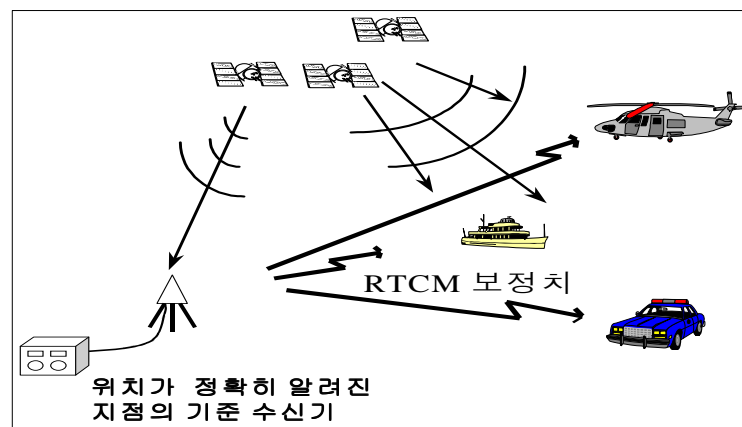
<그림 2-16> DGPS 개념도

2.2.3 DGPS 측위기법

1. DGPS(Differential GPS) 측위기법

가. 실시간 DGPS 기법

DGPS는 2개의 수신기를 필요로 한다. 하나의 수신기는 기준점에 정지해 있고 다른 하나는 이동을 하면서 위치측정을 시행한다. 기준점 수신기는 위성의 신호로부터 위치를 계산하는 대신에 이미 정확하게 알려진 그 지점의 위치 값을 이용하여 신호의 오차값을 추정하고 이것을 수신한 신호와 비교한다. 바로 이 차이가 보정값이 된다. 이 보정값을 표준형식인 RTCM SC-104(RTCM 1994) 자료형태로 전환한 후, 이동중인 수신기로 전송한다(<그림 2-17>참조). 기준점에서 추정한 보정값을 통신매체를 통해 전달받은 이동체 수신기는 이 보정값을 이용하여 자신의 위치 측정값을 수정할 수 있어 정확한 위치 측정이 가능하다.



<그림 2-17> DGPS 개념도

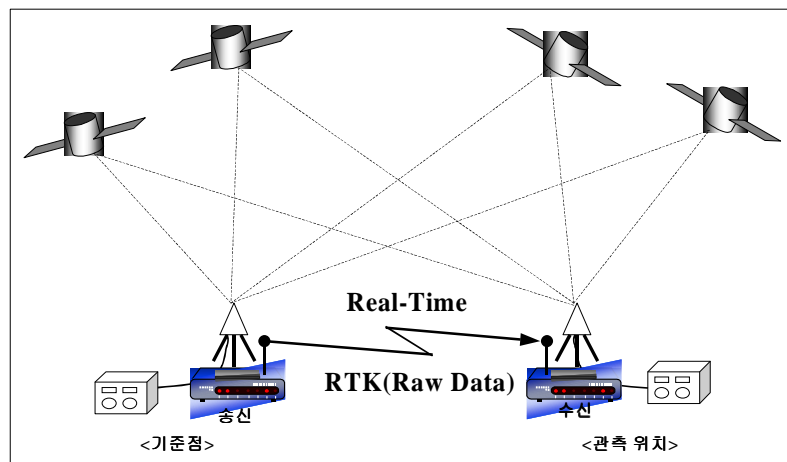
모든 DGPS 응용 분야가 실시간으로 정밀한 위치측정을 수행해야 하는 것은 아니다. 이를테면 새로 건설한 도로를 지도에 삽입하고자 할 때는 관측이 먼저 행해지고, 이 때 저장했던 측량자료를 후처리하여 위치를 계산하는 경우도 있다. 이 때 이동하는 수신기는 위성 신호의 수신 자료와 시간만 저장하며 기준국은 동시에 보정값들을 계산하여 저장한다.

측량이 종료된 후 보정값을 이용하여 후처리하면 정밀한 위치정보를 획득할 수 있다. 이럴 경우 기준 수신기와 이동 수신기간의 전파를 이용한 연결은 필요하지 않으며, 근처에 직접 보정값을 받을 수 있는 기지국이 없어도 DGPS에 의한 위치보정이 가능하다.

나. 실시간 반송파 이동측위(RTK) 기법

GPS의 신호체계상 반송파에 의한 위치결정 방법이 코드에 의한 위치결정보다 정밀도면에서 큰 이득을 주지만, 반송파에 의한 단독측위 역시 후처리 상대측위 기법보다는 정밀도가 떨어지는 단점을 가지고 있다.

광범위한 관측점의 정밀좌표들을 빠른 시간내에 획득하기 위해서는 이동측량을 수행하는 동시에 후처리 자료처리 기법이 갖는 정밀도에 근접한 결과를 산출할 수 있는 방법이 요구된다. 이러한 목적을 위해 개발된 것이 고정밀 이동측량 기법인 RTK(Real Time Kinematic)로서, 기본개념은 정밀한 위치를 확보한 기준점의 반송파 오차 보정치를 이용하여 사용자가 실시간으로 수 cm의 정밀도를 유지하는 관측치를 얻을 수 있게 하는 것이다. RTK의 기본개념은 오차보정을 위해 기준국에서 전송되는 데이터가 반송파 수신자료라는 것을 제외하고는 DGPS의 개념과 거의 유사하다(<그림 2-18>참조).



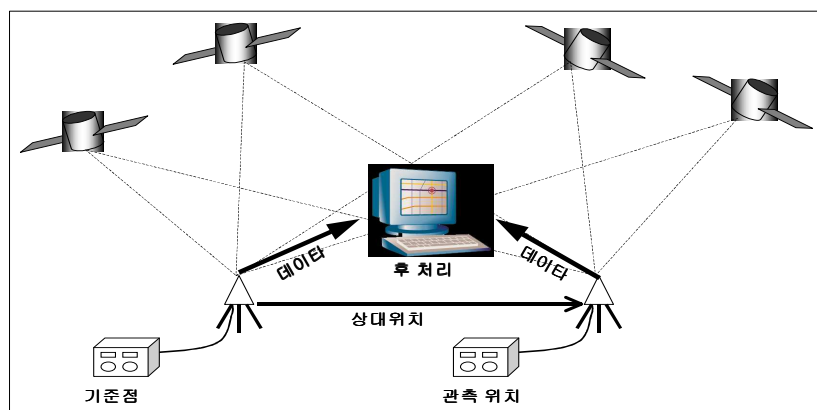
<그림 2-18> 실시간 이동측위(RTK)의 개념도

다만 RTK를 위해서는 각 위성에 대한 반송파 측정치를 기준점 수신기가 지속적으로 제공하여야 하고, 정보의 전송장애로 발생할 수 있는 오차의 한계가

DGPS보다 상대적으로 크기 때문에 보다 안정적이고도 신속한 정보전달 통신 시스템이 요구된다. 현재 GPS를 응용하는 여러 분야에서 DGPS와 RTK가 주로 사용되고 있으며, GIS나 측량, 항법등 모든 응용분야가 RTK 기법의 사용에 초점을 맞추어 실용화되고 있다.

다. 후처리 상대측위 기법

한 대의 GPS 수신기를 이용하여 위치측정을 수행할 경우, 위치결정 정밀도는 수신기의 능력에 의해 좌우된다. GPS 신호의 부호체계중 C/A코드를 이용하여 수신자의 위치를 결정하는 저가의 상용 수신기는 그 정밀도가 수십 미터에 이르며, 암호화된 P코드를 사용하는 수신기의 경우에도 1m 이하의 정밀도를 갖기가 어렵다. 측지 및 측량, 지각변동의 감시등과 같이 수 cm 이하의 고정밀 위치결정이 요구되는 분야에서는 단독측위에 따른 GPS의 위치 결정 한계를 극복하기 위하여 후처리 상대측위 기법을 사용한다. 이 기법은 단독측위와는 달리 정밀한 위치를 알고 있는 기준점과 위치측정이 요구되는 지점에서 동시에 GPS 관측을 수행하고, 두 수신기에 수신된 반송파를 별도로 동시에 자료처리(Leick 1995)하여 정밀도를 현격히 증가시키는 방법이다(<그림 2-19>참조).



<그림 2-19> 후처리 상대측위 개념도

두 지점에서 동시에 관측된 GPS위성의 반송파 자료는 관측종료 후 반송파를 이용한 상대측위 결정 능력을 갖는 프로그램에 의해 계산되어야 하며, 이 때 기준점의 위치오차가 결정하고자 하는 지점의 위치에 영향을 미치

게 된다. 따라서 매우 정밀한 기준점이 요구된다. 또한 정밀 위치결정에 있어서 GPS 위성의 정확한 궤도정보도 필수적이므로, IGS에서 제공하는 고정밀 궤도력도 요구된다.

반송파를 이용한 후처리 상대측위 기법은 정밀도를 향상시키기 위하여 자료처리와 관련하여 발생할 수 있는 여러 오차원인을 제거할 수 있는 능력을 갖추어야 하며, 이 때 필요한 각종 환경변수들의 적절한 모델을 갖고 있는 고정밀 자료처리 프로그램이 필요하다.

일반적으로 상용화된 고정밀 GPS 자료처리 프로그램은 기선거리에 대하여 백만분의 일(1ppm: 1 part per million) 또는 천만분의 일 정도의 정밀도를 가지며, 스위스 베른대학의 천문연구소에서 개발한 Bernese GPS S/W와 같은 연구용 프로그램의 경우, 두 수신기간의 직선거리에 대해 1억분의 2(20 ppb: part per billion)의 정밀도로 위치를 측정할 수 있는 능력을 갖고 있다(Hugentobler *et al.* 2001).

2.2.4 DGPS 보정정보 전달 체계

1. RTCM SC-104 메시지 형식

위성에서 만들어진 전파신호는 지상의 사용자에게 전달될 때까지 앞에서 언급한 많은 오차요인들이 포함되게 된다. 따라서 GPS에 의한 위치결정은 기본적인 오차를 갖게되며, 이러한 오차를 제거하기 위한 방법의 하나인 DGPS에서는 정밀위치가 알려져 있는 기준국의 수신정보를 이용한다.

1990년대 초반 미국 RTCM(Radio Technical Commission For Maritime Services)의 DGPS와 관련된 업무를 담당하는 104번째 특별위원회는 DGPS 서비스 개념 및 실용화를 위한 학술적, 기술적 실험을 통해 DGPS 데이터의 정보 내용 및 형식, 사용자의 인터페이스를 정의한 표준 권고안을 발표하였다. DGPS 서비스를 위해 RTCM SC-104는 기준국의 오차보정 값, 위성 상태 정보, 기준국 정보, 기타 정보들을 자세히 규정하고 있으며, 각각의 정보들은 내용에 따라 고유의 식별번호를 가지고 있다. <표 2-2>에서 볼 수 있는바와 같이 총 64개의 고유 식별번호로 정의된 정보들

은 그 내용에 따라 완전히 고정된 형태로 정의되기도 하며, 확정되지 않은 초기 형식으로 정의되어 있는 정보와 추후 활용을 위해 예약된 영역을 갖는 형태로 정의되기도 한다.

<표 2-2> RTCM SC-104 정보종류 및 내용

메시지 타입	상태	타이틀(내용의 의미)
1	확정	DGPS 보정량(의사거리와 시간변화에 따른 보정량)
2	확정	델타DGPS 보정량(궤도정보 교체에 따른 차이보정)
3	확정	참조국 파라미터(참조점의 WGS-B4에 의한 3차원 좌표)
4	폐지	측량(반송파 위상용이었지만 사용도지 않았다.)
5	잠정	위성의 헬스(헬스정보와 참조국 위성전파의 S/N비 등)
6	확정	공백
7	확정	비콘역(歷) (DGPS 보정신호를 전송하는 해상비콘의 위치, 주파수 등)
8	잠정	의사위성역(曆)(의사 GPS 위성의 전파발사시각 등 4.3.2.항 참고)
9	확정	제한 DGPS 보정량(1과 동일하되 사용하는 위성의 정보만 포함)
10	보류	P코드 DGPS 보정량
11	보류	C/A코드 L1, L2 보정량
12	보류	의사위성 파라미터 (4.3.2항 참조)
13	잠정	지상송신국 파라미터
14	보류	측량용 예비
15	보류	전리층(대류층) 메시지
16	확정	특별메세지(아스키 코드로 최대 90자)
17	잠정	궤도정보, 알마낙
18	잠정	반송파 위상 (가공하지 않은 데이터)
19	잠정	의사거리(가공하지 않은 데이터)
20	잠정	RTK 반송파 위상 보정
21	잠정	RTK 의사거리 보정
22-58	-	미정
59	잠정	전용메시지(운영책임자의 통보 사항)
60-63	보류	미정

*Richard B. Langley (GPS World. May 1994)의 논문*에 의함

정보의 구성형식은 GPS 항법메시지에서 사용하는 형식과 유사한 방법을 채택하였으므로 GPS 신호체계에서 사용하고 있는 워드(word) 크기 및 형식, 패리티(parity) 방정식을 그대로 이용한다. 따라서 GPS 신호체계에서 사용하는 강력한 에러보정 방식인 "Hamming code" 방정식을 그대로 사용하고 있으며, 한 워드에는 30비트의 정보가 포함되며 최소 50bps 전송속도를 갖게 된다. 그러나 GPS 신호체계에서는 고정된 하위 프레임 크기를 갖는데 비해 RTCM SC-104에서는 정보내용의 확장성을 고려하여 가변길이의 정보 형식도 가능하도록 설정하고 있다.

RTCM SC-104에서 정의하는 모든 정보들은 선두에 정보전송에 따른 특별정보를 포함하는 두 개의 워드를 갖는다. 따라서 각 정보들은 N+2개의 워드를 가지게 되며, 이 때 N워드는 정보의 종류에 따라 변화하는 정보 워드의 갯 수이다. 각 정보의 선두에 나오는 두 개의 워드는 정보의 종류, 기준국 정보, 기준시각, 프레임 동기화에 필요한 정보들이 포함되며 위성과 사용자간의 정보 동기화 방법은 GPS 신호와 마찬가지로 정보의 선두에 나오는 8비트의 preamble을 이용한다. 각 워드의 마지막을 구성하는 6비트의 패리티는 GPS 위성에서 사용하는 에러보정 방식을 그대로 채용하고 있다.

가. RTCM SC-104 제 1/2 정보

지구중심으로부터 정밀하게 위치가 결정된 DGPS 기준국에서는 사용자에게 여러 가지 정보를 제공할 수 있다. 그러나 가장 기본적이고도 중요한 정보는 DGPS 오차보정 값이므로, RTCM SC-104에서는 이 정보를 “제 1 정보” 형태로 정의하고 있으며, 그 내용은 <표 2-3>과 같다.

<표 2-3> RTCM SC-104의 제 1 정보 내용

변수명	비트수	축척 및 단위	범위
Scale Factor	1	1	2 states
UDRE	2	1	4 states
Satellite ID	5	1	1-32
PRC(t_0)	16	0.02 or 0.32 m	± 655.34 or ± 10485.44 m
RRC	8	0.002 or 0.0032m/s	± 0.254 or ± 4.064 m/s
Issue of Data	8		

실시각 위치결정 정밀도를 증가시키기 위한 관측기법인 DGPS를 이용하기 위해서는 사용자의 수신기가 측정한 의사거리에 포함된 오차 보정치를 제공하여야 하는데, 이를 위하여 기준국에서는 관측이 진행중인 각 위성에 대한 16비트의 의사거리 보정치(PRC : PseudoRange Correction)와 의사거리 보정치의 추정 변화율을 상쇄시키기 위한 8비트 크기의 의사거리 변화율 보정치(RRC : Range-Rate Correction)를 제공한다.

제 1 정보에는 의사거리 보정값 및 의사거리 변화율 보정치 이외에 상기 값들의 축척을 나타내는 1 비트의 scale factor와 전송정보에 따른 예상 정밀도를 나타내는 UDRE(User Differential Range Error), 5비트의 위성 식별부호 등이 포함된다.

“제 1 정보”는 DGPS 기준국에서 관측되는 모든 위성들의 자료가 포함되며, 각 위성에 대한 정보는 <표 2-3>에서와 같이 40비트가 소요되므로, 이를 위한 워드수가 항상 정수가 되는 것이 아니다. 따라서 워드 단위의 정확한 정보전송을 위해서 프레임의 마지막 워드에 8비트 또는 16비트의 임의정보를 채워야 하는 경우가 발생하며, 이 경우 1과 0이 반복되는 Fill 부호를 삽입한다.

사용자의 수신기가 위성으로 수신된 정보에서 새로운 위성 궤도력을 얻지 못할 경우, 기준국과 사용자가 사용하는 궤도력의 차이에 의한 위치결정 오차가 발생한다. 이러한 경우를 위해 RTCM SC-104에서는 궤도력 갱신에 따른 의사거리 및 의사거리 변화율 보정치의 차이값을 전송하게 되는데, 사용자의 수신기가 기준국에서 DGPS 정보를 만드는데 사용한 궤도력과 같은 정보를 이용할 때까지는 제 2 정보에 의해 전송된 자료를 보정하여야 정확한 위치결정을 수행할 수 있게 된다.

제 2 정보의 형식은 의사거리 및 의사거리 보정치 대신 각각의 차이값을 전송하는 것 이외에는 내용 및 형식이 제 1 정보와 같다.

나. RTCM SC-104 18-21 정보

64 종류의 정보로 분류된 RTCM SC-104 형식중 RTK 서비스 시스템을 위해 할당된 메시지 형태로는 제 18 ~ 21정보가 있다. 이 정보들은 측량이나 고정밀 위치결정 및 항법에 유용한 정보를 포함하고 있으며, 모호정수

(integer ambiguity) 결정 기법을 사용하는 실시간 고정밀 이동측량을 가능케 한다.

제 18 정보는 기준국의 반송파 측정값을 전달하며, 제 19 정보는 의사 거리 측정값을 전송하도록 설정되어 있다. 제 20, 21 정보는 GPS 위성 메시지에 포함된 궤도력에 의해 보정된 관측값으로, 제 21 정보는 제 1 정보와 유사하지만 측정 정밀도 등과 같은 추가적인 정보를 포함하므로 cross-correlation 수신기를 지원할 수 있도록 한다. 일반적으로 제 18/19 정보와 제 20/21 정보가 한 쌍으로 정보형태로 전송되어야 한다.

각 메시지의 형식은 유사한 형태를 가지고 있는데, 정보의 첫 번째 워드(30비트)는 정밀 시간결정과 관련된 관측시간 (GNSS Time of Measurement) 정보가 포함되며, 각종 정보의 유무를 알려주는 플래그가 함께 전송된다. 각 정보에 따른 자세한 전송 형식 및 내용은 RTCM SC-104 권고안(RTCM, 1998)에 수록되어 있다.

2.2.5. DGPS 정보전송 매체

DGPS 기준국에서 생성된 오차 보정치를 사용자에게 전달하는 전송매체로는 유선, 무선, 방송 시스템 등 다양한 종류가 있으며, 이 때 사용되는 주파수도 여러 종류가 있을 수 있다. 일반적으로 DGPS 정보를 전송하는데 있어서 전송 주파수에 따라 크게 3가지로 분류할 수 있으며, 각각의 경우에 현재 활용 가능한 대표적인 전송매체를 살펴보면 다음과 같다.

1. 지상파

30KHz에서 30MHz에 이르는 지상파 시스템은 주파수 영역에 따라, 장파, 중파, 단파로 분류할 수 있다. 30-300KHz 영역인 장파 및 300-3000KHz 영역인 중파 시스템은 전파전파 신뢰성이 좋으며, 수신영역이 넓은 특징을 갖고 있어 DGPS 정보를 전송하는데 매우 적절한 수단이 된다. 반면 3-30MHz 영역의 단파 시스템은 이온층에 의해 반사되지 않고, 주위에 지형적인 장애물이 있는 경

우에 쉽게 전파가 끊기는 단점이 있어 적절치 못하다.

가. Marine Radiobeacons

현재 미 해안 경비대 및 여러 나라에서 선박 항해에 필요한 DGPS 서비스를 제공하기 위해 사용하고 있는 통신매체이다. 283.5-325kHz 영역의 주파수를 사용하고 있는 marine radiobeacons은 유효반경이 대략 300Km에 이르며, DGPS 보정치를 MKS(Minimum Shift Keying) 변조방식을 이용하여 전송한다.

이러한 DGPS/radiobeacons 방송망은 수년간 이미 해양항법에 사용되어져 왔기 때문에 방송망 시스템이 잘 갖추어져 있으며, 기존의 방향탐지 기능을 저해하지 않고 DGPS 모듈을 추가시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 수신기 가격 및 이용요금이 저렴하며, 수신지역이 광범위하다는 특성 때문에 전 세계적으로 널리 사용되고 있다. 이 방송망에 대한 책임은 IALA(International Association of Lighthouse Authorities)이 맡고 있으며 방송신호에 대한 표준도 이곳에서 결정한다.

나. 2MHz 지상파 시스템

상업적으로 DGPS 정보를 제공하는 방송 시스템들은 2 MHz 영역의 지상파를 사용하기도 한다. 1.8MHz에서 2MHz까지의 주파수들은 상업적 전파측위 목적으로 배정되어 있는 영역으로, 중파 영역 중에서도 높은 주파수대를 갖는다. 따라서 장파에 비해 대기에 의한 간섭 및 신호감쇄(페이딩) 현상들이 크기 때문에 이를 극복하기 위해 다이버시티(diversity)를 채용하기도 하는데, 해상에서는 수신지역이 방송타워에서 700Km에 이를 정도로 넓은 영역을 가진다.

2. VHF/UHF 방송망

VHF(30-300 MHz), UHF(300-3000 MHz) 전파전송 시스템은 단거리 통신수단으로 유용하나, 지형지물에 의한 전파차단 및 다중경로에 따른 페이딩 현상 등 외부 환경에 의한 영향을 많이 받는 단점을 갖고 있다. 따라서 이러한 주파수를 사용하여 DGPS방송을 하려면 전파의 특성상 여러 개의 중계기가 필요하므로 비용이 많이 들고 방송망을 구축하기가 매우 어렵다. 그러나 적절한 수신범위를

유지하는 중계소가 설치되어 있고, 정보전송 지연시간이 10초 이내인 시스템이 설치되어 있다면, 비콘을 이용할 경우보다 저렴한 가격으로 DGPS 서비스를 제공할 수 있다.

가. Cellular Radio

이 시스템은 이동통신과 이동 자료통신을 위한 것으로 각각의 Cell은 커버 범위가 좁고, 각기 다른 두 개의 송수신용 주파수를 할당받는다. 만일 이동체가 cell간 접경지역을 지나갈 경우, 이용 주파수는 갑자기 바뀌는 것이 아니고 바뀐 셀에서 어느정도 시간이 지난 다음에 바뀌게 된다. 이러한 주파수 변경을 handover라고 하는데, 이 경우 DGPS 보정신호의 단절이 발생할 수 있다. 이는 Cellular radio 시스템이 VHF와 UHF가 갖는 단점을 똑같이 가지고 있기 때문이다.

나. Frequency Modulation Subcarrier

FM 라디오 방송국은 방송 주파수의 기저대역에서 66내지 99KHz 떨어진 부반송파에 디지털 정보를 부가하여 상업적 목적으로 방송할 수 있다. 이러한 정보전송 방송 기술을 SCA(Special Commercial Authorization)라고 하며, FM 부가 방송 시스템(FM Multiplex Broadcasting System)이라고도 한다. 최근에 전 세계적으로 사용되고 있는 기술로는 RDS(Radio Data Service)나 DARC(Data Radio Channel) 등이 있으며, RTCM SC-104에서도 이러한 방법을 DGPS방송에 이용하도록 권장하고 있다.

3. 이동 위성통신망

이동 위성통신망을 이용한 DGPS 전송방식은 수신범위가 전 세계라는 특징을 갖고 있다. 정지궤도에 있는 위성을 통한 정보 전송에 소요되는 비용은 요구 출력, 전송속도, 안테나 크기, 유효범위에 비례한다. 만일 수신기의 안테나가 크다면 수신이득도 상대적으로도 크므로 위성의 출력은 그리 세지 않아도 된다. 따라서 위성 전송비용은 안테나 이득G을 단말기의 잡음온도 T로 나눈 값인 G/T비에 의해 가장 크게 좌우된다.

가. Inmarsat

지구 동주기 위성인 Inmarsat 위성은 1993년에 이미 DGPS 정보를 송출하는데 이용되기 시작했으며, 정보 수신용 단말기로는 Inmarsat-A, C, M 등 3종류가 사용되고 있다.

Inmarsat-A는 가장 크고 gain도 가장 커서 사용하는데 비용이 가장 저렴하다. 1-2m정도 접시형 안테나를 포함한 75 파운드 정도의 가벼운 단말기로서, 작은 배나 비행기에는 부적합한 기계적 특성을 가지고 있다. 이 단말기는 G/T가 -4dB, 위성출력이 9dBw, 전송속도가 2400bps이다. 만일 필요한 전송속도가 240bps라면 위성의 출력은 -1dBw정도만이 필요하다. 자동차의 경우에 안테나 이득이 가장 좋은 Inmarsat-A를 사용하는 것이 적당한데 자동차에 비해 안테나의 크기나 위성의 출력이 적합하지 않은 단점이 있기 때문에, 대부분의 경우에는 큰 배에서 주로 이용된다.

Inmarsat-C는 고도각과 방위각 모두에 대해 무지향성인 안테나를 포함하고 G/T는 -25 dB이며, 이에 따른 위성의 출력은 27.5 dBw (2400bps)이다. 안테나의 이와같은 특성 때문에 대부분의 경우에 사용될 수 있다.

Inmarsat-M의 경우 고도각에 대한 무지향성 안테나를 포함한다. G/T는 -12 dB이며, 이에 따른 위성의 출력은 15 dBw가 요구된다. 이 단말기를 이용할 경우 정보의 전송속도는 2400bps가 되며, 가정 널리 사용되는 단말기 형태이다.

나. Other Mobil Satellite Services

위성에 의한 이동체 위치정보 서비스와 관련되어 좀 더 값싸고 작은 사용자 단말기가 개발되고 있다. 즉 안테나 이득을 높이고 G/T를 줄이는 데 중점을 두고 있다. 예로 저고도 위성을 이용하는 것이 있을 수 있는데, DGPS 정보전송 뿐만 아니라 각종 정보의 제공업무 분야에서 상업적인 서비스가 실시중인 시스템들이 있다.

2.3 국내 GPS 보강시스템 구축·운영 및 활용현황

2.3.1 국내 GPS 보강시스템 현황

GPS 상시관측망이란 특정 지역 또는 전 세계적으로 GPS 위성의 신호를 24시간 수신할 수 있는 상시관측소들을 건설하여, 각 관측소간의 기선(baseline) 결정 및 GPS 관련 각종 정보를 생성할 수 있도록 하는 GPS 네트워크망을 말한다. GPS 상시관측망을 이용하면 지각의 움직임을 수 mm의 정밀도로 감시가 가능하고, 이온층과 대류층 등 환경변화 감시 및 DGPS를 위한 항법용 오차보정 정보의 공급 등 다양한 GPS 응용기술들을 활용할 수 있어 상시관측망 건설은 전 세계적인 추세이다.

GPS 관측망은 일반적으로 GPS 기준국(상시관측소)과 중앙센터로 구성된다. GPS 기준국의 기본적인 임무는 1년 365일 하루도 빠짐없이 24시간 GPS 위성으로부터 오는 신호를 관측하고 그 자료를 저장 및 관리하는 작업이다. 중앙센터는 모든 감시국으로부터 GPS 데이터를 취득하고 또한 IGS 기구에서 제공되고 있는 자료처리에 필요한 데이터를 인터넷상에서 취득하여 데이터를 처리하는 것이 주요 임무이다.

1997년부터 시작된 국내 GPS 관측망 건설은 한국천문연구원, 국립지리원, 행정자치부, 해양수산부 등에서 추진되었다. 한국천문연구원은 GPS 기초연구 및 응용분야에 대한 연구과제 수행을 위하여 9개의 상시관측소를 건설하였고, 국립지리원은 정밀 지도제작을 위해 14개의 상시관측소를 건설 운용중에 있다. 해양수산부는 해안 연안 지역에 11개의 DGPS 기준국을 운용중에 있으며, 행정자치부는 지름 약 40km 격자 형식으로 전 국토에 걸쳐, 한국자원연구소는 양산 단층대 지역 중심으로, 한국전력공사는 DGPS 서비스를 위해 약 100km 정도의 거리를 두면서 전국에 걸쳐서 각 기관의 목적에 따라서 GPS 관측소를 설치하여 현재 국내에 설치된 GPS 관측소는 약 80여개를 상회한다(<표 2-4> 참조).

<표 2-4> 국내 GPS 관측소 현황

	행정자치부	국립지리원	해양수산부	천문연구원	자원연구소	한국전력
목적	지적측량	측지측량	선박항행	기초/응용	지각변위	전신주 DB
관측소	31/?	11/9	8/3	7/3	4/?	5/?
수신 시스템	Trimble 4000SSI L1/L2 GP RTK ISDN/PSTN	Trimble 4000SSI Choke-Ring RTCM/RTK ISDN/PSTN	Trimble 4000RS/IM L1/L2 GP RTCM 전용선/FR	Trimble 4000SSI Choke-Ring RTCM/RTK 전용선/ISDN	Trimble 4000SSI/SSE Choke-Ring RTCM/RTK PSTN	Trimble 4000SSI Choke-Ring RTCM/RTK 내부 LAN
시스템 운영	1회/day 접속 Interval:30S raw/dat RINEX Session:3H	1회/day 접속 Interval:30S raw/dat RINEX Session:3H	? ? ? ?	실시간 접속 Interval:1S raw/dat RINEX Session:1H	수동 접속 ? raw ? ?	1회/day 접속 Interval:15S dat/ssf RINEX Session:1H
DGPS	이동통신(?)		Beacon	FM DARC		
비고	RTCM 전용선 활용가능	전용선 활용가능	RTK Frame-Relay 활용가능	활용가능	전용선 활용가능	전용선 ?

1. 과학기술부(한국천문연구원)

한국천문연구원은 1989년 위치천문 연구 및 천문 실용화 사업에 초점을 맞추어 국내 최초로 GPS 관련 연구를 시작한 이래 국내·외적으로 활발한 연구 활동을 수행하였다. 1995년에는 국제 GPS 관측망(IGS)에 정식 등록하였으며, 2006년에는 아시아에서 첫번째로 전세계 4개 기관만이 참여하고 있는 IGS 국제 데이터센터(Global Data Center)로 지정되어 임무를 수행하고 있다.

한국천문연구원의 주요 시설은 GPS 데이터 센터와 GPS 상시관측소로 나눌 수 있다. GPS 상시관측소는 한국천문연구원 국제 GPS 기준점 외에 전국에 8개 지역에 무인 상시 관측소로 운용되고 있다. 각각의 상시 관측소는 GPS 데이터 센터와 전용망으로 연결되어 원격으로 제어되며, 데이터를 수집·관리할 수 있도록 설계되었다. 또한, TRIMBLE 4000 SSI 및 Net RS 수신기 13조를 비롯, 기준국에 필수적인 세슘 원자시계, 고정밀 자료처리 S/W인 Bernese 5.0, GIPSY GAMIT 등을 보유하고 있다. (<그림 2-20> 및 <표2-5>참조).



<그림 2-20> 한국천문연구원 a) GPS 시스템 b) GPS 상시관측소 현황

<표 2-5> 한국천문연구원의 GPS 관측소 현황

No	관측소	설치 지점	수신기 명칭	안테나 형식	통신망	지시대 형식	운용 시점
1	대전	한국천문연구원	Net RS	Choke Ring	내부LAN	지반/콘크리트	92.
2	서울	기상본청	4000ssi	"	전용선	지반/스테인레스 필라	99.7
3	속초	속초 기상대	"	"	"	"	"
4	목포	목포 기상대	"	"	"	"	"
5	밀양	밀양 기상대	"	"	"	"	"
6	제주	탐라 대학교	"	"	"	"	00.6
7	소백산	소백산 천문대	Net RS	"	LAN	지반/콘크리트	.0.1
8	보현산	보현산 천문대	"	"	"	"	00.10
9	여수	여수 MBC	4000ssi	"	전용선	"	0.1

2. 건설교통부(국립 국토지리정보원)

국토지리정보원의 임무는 국가 기본측량표의 설치·유지와 지도제작 그리고 지

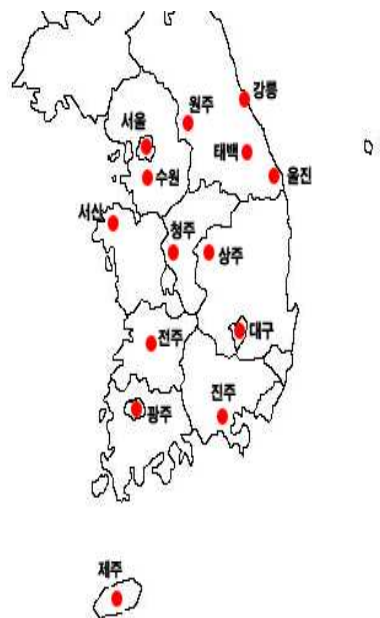
도를 전산화하며 국토의 정보를 기록하고 보급하는 것이다. 정보화 시대의 요청에 따라 위성을 이용한 GPS 측량을 통해서 보다 효율적인 측량 시스템을 구축하고자 국립지리원은 '95년 3월 수원 청사내에 Turbo Rogue 수신기를 이용하여 GPS 상시관측시스템을 설치하여 시험운행을 시작하였다. '97년 국제GPS관측망(IGS)의 가입과 함께 전국을 대상으로 한 GPS 상시관측소의 설치를 추진하기 시작하여 '97년도에 강릉, 광주, 대구, 전주, '98년도에 제주에 GPS상시관측소를 무인원격시스템으로 구축하였으며, 국토지리정보원내에 GPS중앙센터를 설치하여 시험운행을 거쳐 '99년 5월부터 본격적인 운영을 하고 있다.

국토지리정보원의 GPS 관측망 시스템은 GPS 위성으로부터 데이터를 획득하여 처리하는 GPS 관측소, 데이터를 전송하는 통신 장치 및 데이터를 수신하여 저장 및 프로세싱하는 GPS 중앙국으로 구성되어 있다. GPS 관측소는 GPS위성으로부터 데이터를 수신하여 1일 간의 데이터를 메모리에 저장하였다가 ISDN 및 PSTN를 통하여 매일 GPS 중앙국에 송신하는 것으로, 전국 측지방 구축을 위해 설치한 14개의 관측소는 완전 자동화의 개념을 도입하여 중앙국에서 모든 일이 원격 제어가 가능하도록 설계되어 있다 (<그림 2-21> 참조).



<그림 2-21> 국토지리정보원

a) 무인상시관측소 구성



b) GPS 상시관측소 현황

GPS 중앙국은 GPS 관측소의 원격 통제, 수신된 GPS 데이터의 수신, 저장, 프로세싱, 결과 디스플레이 및 위치 정보를 전송하기 위해 국립 지리원 GPS 관측센터에 설치 운용되고 있다. 시스템의 구성은 통신 및 제어 시스템, 데이터 처리 시스템, 백업 시스템으로 구성되어 있다. 통신 및 제어 시스템은 일본의 히타치사에서 개발한 GARD 프로그램을, D/B로는 SYBASE 프로그램을 사용하고 있으며 데이터 처리 시스템은 스위스 베른 대학에서 개발한 Bernese 소프트웨어를 사용하고 있다. 백업 시스템으로는 NT Server에 GPS 관측자료인 RAW와 RINEX 데이터를 저장하고 있다(<표 2-6> 참조).

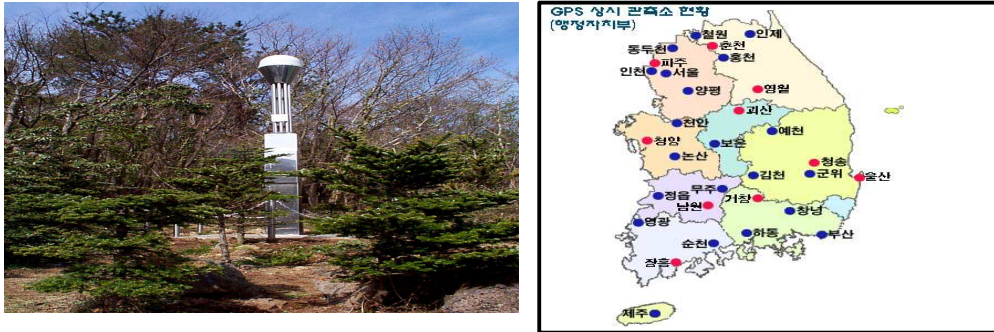
<표 2-6> 국립지리원의 GPS 관측소 현황

No	관측소	설치 지점	수신기	안테나	통신망	지지대 형식	운용
1	수원	국립지리원	4000SSi	Choke Ring	LAN	필라	95.3
2	광주	전남 대학교	"	"	전용선	"	98.10
3	전주	전북 대학교	"	"	"	"	"
4	대구	경일 대학교	"	"	"	"	"
5	강릉	강릉 대학교	"	"	PSTN	"	"
6	제주	제주 기상대	"	"	전용선	"	99.2
7	서울	서울 산업대학교	"	"	"	"	00.5
8	원주	원주 기상대	"	"	"	"	00.2
9	서산	서산 기상대	"	"	PSTN	"	00.2
10	울진	울진 기상대	"	"	전용선	"	00.2
11	진주	경남 대학교	"	"	PSTN	"	00.2
12	상주	상주 대학교	"	"		"	01.1
13	서울	서울 산업대학교	"	"		"	"
14	태백	강원 관광대학	"	"		"	"

3. 행정자치부

행정자치부는 지적재조사 사업의 일환으로 지적과에서 99년부터 GPS 감시망을 구축하기 시작하여 현재 30개소의 관측소를 설치 운영하고 있다. GPS 관측소의 안테나 지지대는 바람에 의한 영향을 줄이기 위해서 한국천문연구원 및 국립지리원과 달리 아래 그림과 같은 모양으로 설계하였다. GPS 중앙국은 세종로의

정부종합청사 행정자치부 지적과에 설치되어 있는데 국립지리원과 동일한 시스템으로 하드웨어만 업그레이드된 모델을 사용한다(<그림 2-11>, <표 2-7> 참조).



<그림 2-22> 행정자치부 a) GPS 관측소 b) GPS 상시관측소 현황

<표 2-7> 행정자치부 GPS 관측소 현황

No	관측소	설치 지점	수신기	안테나	통신망	지시대 형식	운용
1	울산	동구청	4000SSi	L1/L2 GP	ISDN	자반/스테인레스 필라	99.7
2	파주	교하중학교	"	"	PSTN	"	"
3	춘천	춘천시립도서관	"	"	ISDN	"	"
4	영월	영월군청	"	"	"	"	"
5	괴산	군청뒷산	"	"	"	"	"
6	청양	청양군청	"	"	PSTN	"	"
7	남원	도통배수지	"	"	"	"	"
8	장흥	남산공원	"	"	ISDN	"	"
9	청송	청송군청	"	"	"	"	"
10	거창	남하면사무소	"	"	PSTN	"	"
11	철원	서면사무소	"	"	"	"	00.2
12	부산	부산대학교	"	"	ISDN	"	"
13	인천	연수배수지	"	"	"	"	"
14	동두천	동두천 기상대	"	"	"	"	00.4
15	양평	회현리 정수장	"	"	PSTN	"	00.2
16	홍천	서석면 정수장	"	"	"	"	"
17	인제	인제군청	"	"	ISDN	"	"
18	보은	공설운동장	"	"	"	"	"
19	천안	경영개발사업소	"	"	"	"	"
20	논산	논산시청	"	"	ISDN	"	"
21	정읍	수자원 관리단	"	"	"	"	"
22	무주	공설운동장	"	"	ISDN	"	"
23	순천	순천시립도서관	"	"	ISDN	"	"
24	영광	영광군립도서관	"	"	"	"	"
25	김천	환경사업소	"	"	"	"	"
26	예천	문화회관	"	"	"	"	"
27	군위	군위군 정수장	"	"	"	"	"
28	창녕	수질환경사업소	"	"	ISDN	"	"
29	하동	악양면사무소	"	"	"	"	"
30	제주	성판악 휴게소	"	"	ISDN	"	"

4. 해양수산부

해양수산부에서는 국제해사기구(IMO) 해상안전위원회 67차회의에서 항만 입·출항로, 접근 항로 및 협수로 등 제한수역에서 GPS 오차를 10m 이내로 보정하여 제공토록 권고함에 따라 1998년부터 DGPS 시스템을 구축하기 시작하였다.

첫째, 국내외의 수로, 항만 및 연안을 항해하는 선박에 위치오차(10 m 이내)의 측위 정밀도를 제공하며, 확인할 수 있도록 지원

둘째, 조난구조, 선속측정, 항만준설 및 해양토목분야에 대한 정밀 측위정보를 확보할 수 있도록 지원

셋째, 측량기준점으로 사용할 수 있는 GPS 관측데이터를 획득하여 관계기관 및 관련업계에 제공

현재 팔미도를 비롯하여 11개의 해양용 DGPS 기준국 및 내륙 5개소가 구축·운영되고 있으며, 위성항법중앙사무소에서는 모든 기준국을 제어·운영하고 있다.

해양수산부의 시스템은 크게 DGPS 기준국, 제어국, 감시국, 통신망으로 구성되어 있으며, 송신 시스템은 기준국과 여러 시스템을 공유하고, 또한 같은 곳에 설치되어 있으므로 일반적으로 기준국 시스템이라 간주한다. 각 국의 기능들을 살펴보면 다음과 같다.

■ 기준국(Reference Station)

추적가능한 모든 위성의 의사거리 보정치 등을 계산하여 송신기에 전달

■ 제어국(Control Center)

기준국, 송신국(MSK Station), 감시국의 운영상태를 원격 감시 및 통제

■ 감시국(Coverage Monitor Station)

DGPS 보정 정보가 기준치를 벗어날 경우 메시지를 중앙 사무소에 전달

■ 통신망(Communication Network)

기준국, 송신국, 감시국의 정보전송을 위한 통신망 시스템으로 PSTN 전용 회선 이용

특히, 대전 위성항법중앙사무소에서는 이들 시스템에 대한 운영상태를 감시하고 원격 제어하며 GPS 관측 자료를 별도의 백업 시스템에 저장한다(<그림 2-23> 참조).



<그림 2-23> 대전 위성항법중앙사무소 운영실

특히, 해양수산부에서는 2003년부터 해양용 DGPS와 연계한 내륙용 DGPS 기준국 6개소를 구축 추진하고 있으며, 2006년말 5개소가 구축 완료되어 정상적인 서비스가 이루어 지고 있다(<그림2-24> 및 <표2-8> 참조). 그리고 2007년 강원 내륙 이용자들을 위한 춘천기준국이 구축되면 우리나라는 전국망 DGPS(NDGPS, Nationwide DGPS)가 완성되어 전 국토 어디에서나 항상 1m 오차범위내 정확한 위치정보를 실시간으로 차량항법은 물론 다양한 육상 응용분야에서 활용되어 국가 측위인프라로써 효율성을 높이게 될 것이다.



<그림 2-24> 거문도 DGPS 기준국 송·수신 안테나 및 중앙처리 장비

<표 2-8> 해양수산부의 DGPS 기준국 현황

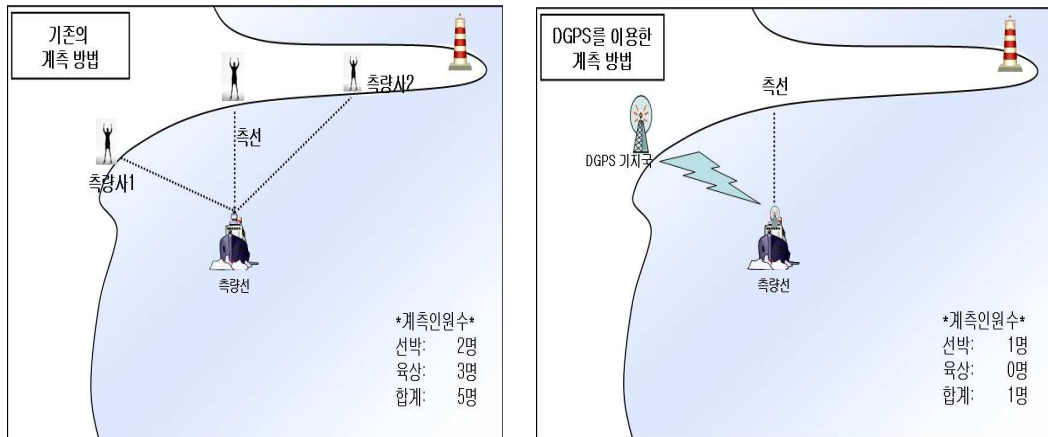
기준국명		주 소	주파수 (KHZ)	기준국 ID	송신국 ID	운영일
해 양 용	팔미도	인천광역시 중구 무의동	313	722(723)	661	'99.08.23.
	어청도	전북 군산시 옥도면 어청리 산12	295	728(729)	664	'99.08.23.
	마라도	제주도 남제주군 대정읍 가파리 산3	290	730(731)	665	'00.06.17.
	거문도	전남 여수시 삼산면 덕촌리 산50-1	287	724(725)	662	'00.06.17.
	영 도	부산광역시 영도구 동삼동 하리	300	720(721)	660	'00.06.17.
	호미곶	경북 포항시 남구 대보면 대보리 221	310	732(733)	666	'00.12.14.
	주문진	강원도 강릉시 주문진읍 주문진리	295	726(727)	663	'00.06.17.
	울릉도	경북 울릉군 서면 태하동	319	734(735)	667	'01.05.22.
	소청도	인천시 옹진군 대청면 소청리	323	736(737)	668	'02.11.08.
	소흑산도	전남 신안군 흑산면 가거도리 9-2	298	738(739)	669	'02.11.08.
내 륙 용	저 진	강원도 고성군 현내면 명파리 산38-3	292	740(741)	670	'02.11.08.
	무 주	전북 무주군 부남면 장안리 1109번지	322	747(748)	671	'04.06.01.
	영 주	경북 영주시 풍기읍 산법리 산106-10	289	749(750)	672	'05.04.08.
	평 창	강원도 평창군 미탄면 창리 389번지	303	751(752)	673	'06.03.06.
	충 주	충북 충주시 신니면 견학리 447번지	318	753(754)	674	'06.06.23.
	성 주	경북 성주군 금수면 어은리 208번지	296	755(756)	675	'06.12(예정)
	춘 천	강원도 춘천시 사북면 고성리 414-1번지	286	757(758)	676	'07.8(예정)

가. 해양분야 이용

1) 해양측량

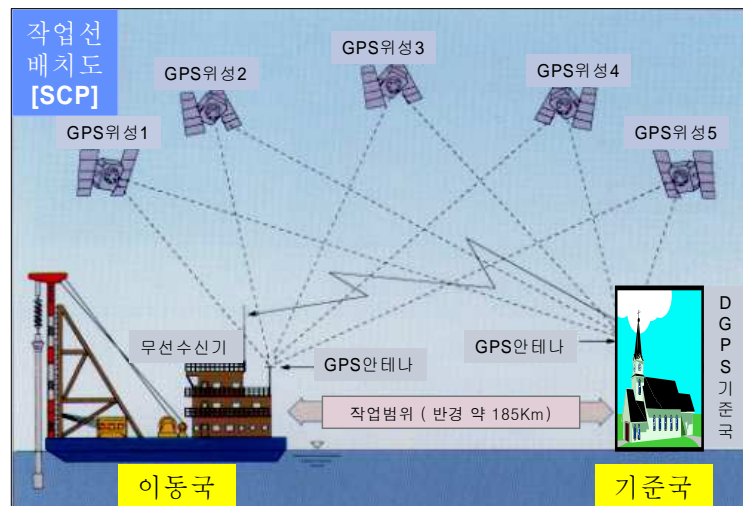
그동안 해양에서의 측량은 육분의를 이용한 3각 양각법으로 위치좌표를 산출함으로써 측량 후 후처리 작업 및 조위정보 보정계산 등이 필요할 뿐만 아니라 측량사의 숙련도에 따라 위치 정확도가 달라지고 측량에 있어서 시간 및 날씨 영향에 제약을 받아왔다

그러나 DGPS 보정정보를 이용함으로써 실시간으로 위치 및 수심을 표시, 기록이 가능할 뿐만 아니라 계측현장에서 실시간으로 오류 DATA 확인, 계측치의 재확인 작업이 가능하고, 또한 시간 및 기상 등 환경적인 제약에 구애받지 않고 해양측량 작업을 수행할 수 있게 되었다(<그림2-25> 참조).



<그림 2-25> DGPS 측위정보를 이용한 해상 측량시스템

특히, 준설 및 작업선에 DGPS를 설치하여 작업구역, 작업선의 이동 상태를 실시간 모니터링<그림 2-26>이 가능하다

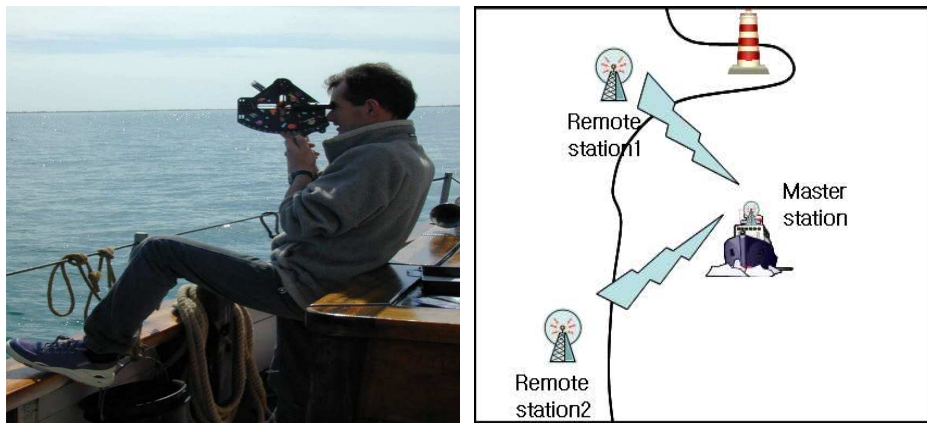


<그림 2-26> DGPS를 이용한 작업선

또한, DGPS를 이용하여 인공어초 설치 위치에 대한 해저 지도 제작을 손쉽게 실시할 수 있어 최소의 작업인원으로 신속하고 정확한 측량이 가능해 졌으며, 비용 및 작업시간이 절감될 뿐만 아니라한 정확한 위치 결정을 통한 해저 지형도의 품질 개선이 가능해 졌다.

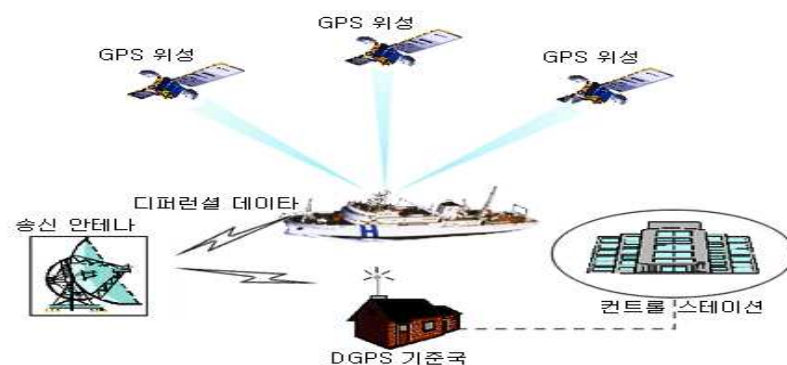
2) 해도제작

해도제작을 위한 연안 및 해양측량은 주로 육분의(Sextant)나 두 곳의 육상종국에서 발사하는 전파를 해상주국에서 수신하여 그 거리로써 선위를 측정하는 Range 방법을 사용하여 해상 위치를 결정하여 왔으나, 해양용 DGPS 보정정보를 수신하여 선위를 결정함으로써 신속하고 경제적인 해도제작이 가능해 졌다(<그림 2-27> 참조).



<그림 2-27> 육분의(좌)와 Range-Range 방법(우)을 이용한 해양 측량

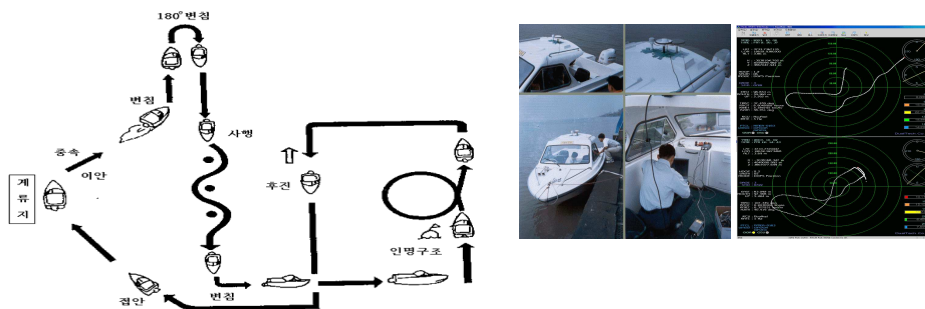
특히, 항만개발을 위한 MGIS 및 NGIS 구축의 기초자료로 활용될 수 있을 뿐만 아니라 전자해도, 연안 기본도, 해안선 변화 모니터링 등 연안 통합관리 및 연안 정비사업에 적절한 관리시스템을 개발하는데 크게 기여할 것이다(<그림 2-28> 참조).



<그림 2-28> DGPS를 이용한 선위결정

3) 동력수상레저기구 면허 시험 채점확인 시스템

해양경찰청에서 주관하는 최대출력 5마력 이상인 동력수상레저기구 조종면허 취득을 위한 실기시험시 수상레저기구 1대당 시험관 1인 이상을 탑승시키며, 시험관들은 이미 만들어진 항목에 대한 채점을 실기시험 중에 실시한다. 이때 변침, 사행 등 각각 진행 방향에 대하여 $\pm 10^\circ$ 의 이내의 정확도를 유지해야하며, 특히 사행에서 부표통과 3m이내에 접근해야 하고 접안도 1m이내에 도달해야 하는데, GPS 단독측위 정확도로는 이러한 주행 궤적 채점시스템에 적용이 불가능하다. 그러나 DGPS 보정정보를 이용할 경우 실시간 주행궤적 시스템을 구축하여 객관적인 계기 주행 기록 및 시험평가에 대한 결과치 확보가 가능하다.(<그림2-29> 및 <그림2-30> 참조)



<그림 2-29> 일반 조정면허실기 코스 <그림2-30> DGPS를 이용한 조정면허 실기시험 시스템

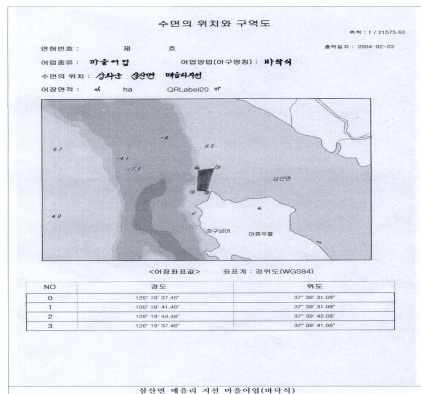
이로서 일반 조정면허 실기시험에 있어 시험 감독관의 주관적 판단기준에 따른 분쟁 요소를 제거하여 조정면허 실기시험의 신뢰성 확보가 기대된다.

4) 면허어장 관리

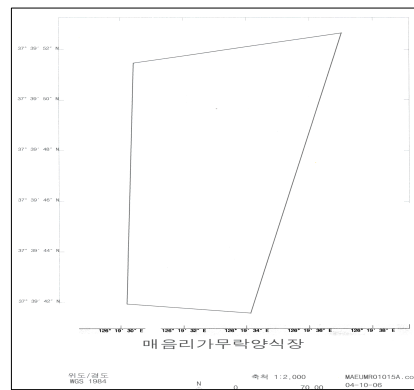
면허어장의 허가 위치를 레이더나 육분의 등으로 방위각과 거리를 측정하여 1:20,000 해도에 표시하는 기존의 방법을 사용할 경우 구역의 정밀도는 현저하게 떨어져 어장의 위치가 허가위치와 다르거나 어장간 경계 확인이 명확하지 않아 민원 및 분쟁이 빈번하게 발생하였다. 그러나 DGPS를 활용하여 얻은 좌표를 이용할 경우 면허 받고자 하는 수면의 경계와 다른 어업권의 어장과와의 경계 또한 신속하고 정확하게 파악이 가능하고 어장의 허가신청 업무에 있어서 정확한 위치 정보

를 활용함에 따라 표시 어장의 신뢰성이 기대된다.

특히, 강화군에서는 DGPS를 이용한 양식허가 건수가 2004년 12월 기준으로 총 52건에 538ha에 이르며, 군청내 타 부서에서도 DGPS의 도입을 검토하고 있어 그 활용이 더욱 늘어날 것으로 예상된다. 이로써 어장간 경계 확인이 명확하지 않아 민원 및 분쟁발생을 사전에 제거할 뿐만 아니라 불법어로의 단속, 적발에 따른 객관적 자료로 활용하여 단속과 지도에 기여할 것이다(<그림2-31> 및 <그림2-32> 참조).



<그림 2-31> DGPS 사용 전 어장관리



<그림 2-32> DGPS 사용 후 어장관리

5) 등부표 관리

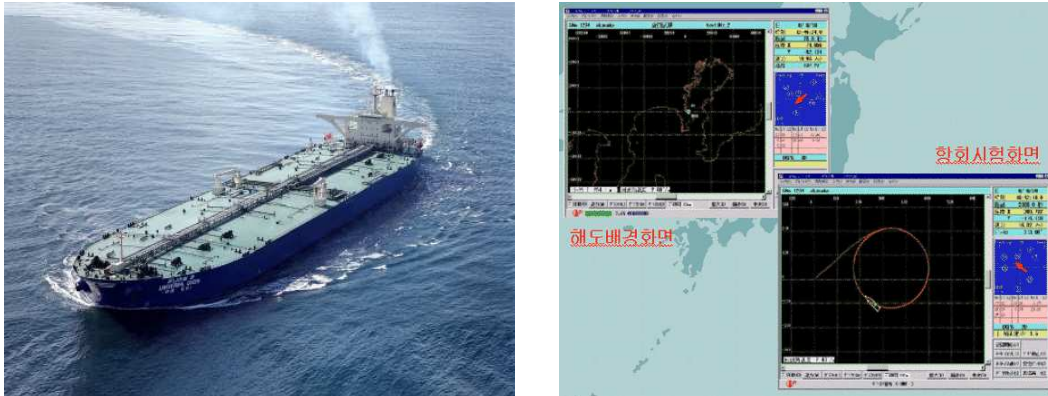
해상교통안전을 위하여 주요 항로상에 설치·운영중인 등부표의 정확한 설치 위치 파악 및 태풍 등에 의한 이동상황을 DGPS를 활용함으로써 효율적으로 점검할 수 있어 등부표 유지관리에 크게 기여하고 있다(<그림2-33> 참조).



<그림 2-33> 해상에 설치된 등부표의 위치 확인

6) 신조선 시운전 평가

신조선에 탑재된 DGPS 수신기를 이용하여 신조선의 속력, 운항궤적, 조타능력 등 선박 성능평가에 이용함으로써 신조선 시운전을 효율적으로 수행하고 있다(<그림 2-34> 참조).



<그림 2-34> DGPS 이용 신조선 성능 평가시스템

7) 교량건설

연육교 등 해상교량 건설시 파도나 조류 등으로 교각의 정위치 측정이 쉽지 않았으나, DGPS를 이용 연육교 교각 건설시 작업선의 정확한 위치를 선정하고 유지할 수 있어 공사기간을 단축하고 있다(<그림 2-35> 참조).



<그림 2-35> 거가대교 조감도

나. 육상분야

DGPS 전국망이 구축·운영 되어감에 따라 점차 육상에서의 DGPS 이용분야가 날로 확대 증가되어가고 있다.

물류시스템 관리분야에서는 전자지도상에 차량 위치, 속도 등의 정보를 DGPS 수신기를 이용하여 제공함으로써 화물차량, 컨테이너 수송차량, 택배차량의 배치 등의 위치 파악이 용이해 졌다

특히, DGPS가 장착된 무인항공기는 지형적으로 접근이 어렵거나 지상에서 파악하기 힘든 상황을 촬영한 후 정확한 좌표와 획득한 비행 영상을 지상으로 전송함으로써 각종 감시활동이나 과학적인 조사 등에 활용되고, 소형 카메라가 탑재되어 있어 군용뿐 만이 아니라 민수용의 실시간 산불감시, 고속도로감시, 기상관측, 해안/적조/불법어로 및 밀입국 감시 또는 송전탑 감시 등에 활용되고 있다.

또한, 농촌인력의 노령화에 따른 친환경 정밀농업기술 구현을 위한 연구가 농업진흥청에서 진행중에 있다. DGPS를 활용한 포장관리의 정밀자동화, 농작업의 정확화 등으로 정밀농업을 실현하고 철저한 작업관리와 자동화를 통하여 수익성을 높일 뿐 아니라 비료와 농약을 적시 적량 투입함으로써 환경보전을 동시에 추구할 수 있다.

그리고 산림청 및 각 지방 국유림 관리소에서는 조림·육림 사업, 임도시공을 위한 사전조사와 산지 이용분야, 산불·병해충지역조사, 입산 통제구역 관리단속 및 예정지 조사에 DGPS를 이용하고 있으며, 국유림의 특성상 광범위한 관리 구역내에 위치한 임도, 경방탐, 사방댐, 대피소 등의 시설물의 관리부분에 보다 정밀한 DGPS이용으로 신속하고 경제적으로 업무를 처리하고 있다.

급속한 도시화에 따른 도시 기반시설중 중요한 각종 지하매설물 관리 즉 상·하수도관, 가스관, 전력구 등 지하매설물 위치 관련 지리정보 DB 구축시 DGPS가 이용되고 있으며, 문화재 발굴조사 및 관리뿐만 아니라 이동통신 기지국의 위치 파악, 송전탑 관리, 자연재해 조사 및 재난재해 GIS DB 구축 활용, 골프장 관리·운영 등 다양한 분야에서 DGPS의 활용이 급속히 증가하고 있는 추세이다.

이외에 DGPS 보정정보 이용에 따른 이용자 요구조건을 <표 2-9>에 소개하고자 한다.

<표 2-9> 이용사례에 따른 DGPS 사용자 요구조건

이용 사례	이용자 요구 조건		비고
	위치 정확도	수신기 크기	
1. 차선(궤도) 이동장치의 위치보정 시스템	수 cm	상관없음	실시간 DGPS / 다른 센서 추가 사용
2. 동력수상레저기구 조정면허 시험 채점확인 시스템	< 1m	상관없음	실시간 DGPS
3. 레일 이동장치의 위치보정 시스템	수 mm	상관없음	실시간 DGPS / 다른 센서 추가 사용
4. DGPS Beacon 신호를 이용한 무인항공기	< 1m	수신기 크기와 무게 제약	실시간 DGPS / 다른 Data Link 이용
5. DGPS를 활용한 친환경 정밀 농업 공학기술	< 1m	상관없음	실시간 DGPS
6. 서리경보시스템 구축에 DGPS 보정정보 이용	수 cm	상관없음	후처리 CDGPS
7. DGPS 측위정보를 이용한 해상 측량시스템	< 1m	상관없음	실시간 DGPS
8. 위성항법보정시스템(DGPS)을 이용한 어장관리	언급없음	상관없음	후처리
9. DGPS를 이용한 매립부지 관리	< 1m	상관없음	실시간 DGPS
10. 해양조석 부하로 인한 부하성분의 결정	수 mm	상관없음	후처리 CDGPS
11. DGPS를 이용한 도로선형 정보의 실시간 구축	< 1m	상관없음	실시간 DGPS
12. DGPS를 이용한 인공어초 설치 및 조사	< 1m	상관없음	실시간 DGPS
13. DGPS를 이용한 해양공사 측량	< 1m	상관없음	실시간 DGPS
14. 국립해양조사원에서의 DGPS 활용	< 1m	상관없음	실시간 DGPS
15. DGPS를 활용한 강수예보 기술연구	언급없음	상관없음	언급없음
16. 양양국제공항 활주로 측량 DGPS 활용	언급없음	상관없음	후처리 CDGPS
17. DGPS를 이용한 산림사업 대상지 측량	언급없음	상관없음	실시간 DGPS / 후처리 CDGPS 모두 사용
18. 주행안전정보 DB 구축에 DGPS 이용	< 1m	상관없음	실시간 DGPS

5. 기 타

한국전력공사에서는 전신주 자료의 DB 구축을 위해서 전국 5개 지점에 GPS 상시관측소를 설치하여 운영하고 있다. 한국전력에서 활용하고자 하는 DGPS 측위는 고정밀을 요하지 않으므로 GPS 안테나를 건물 옥상에 설치하였고, 각 DGPS 기준국마다 GPS 수신기를 제어하는 컴퓨터를 가지고 Trimble사의 URS for Windows 소프트웨어를 이용하여 GPS 자료를 수신하고 있다(<표 2-10> 참조).

<표 2-10> 한국전력공사의 DGPS 기준국 현황

No	관측소	설치 지점	수신기 명칭	안테나 형식	통신망	지지대 형식	운용 시점
1	신성남	한전지사	4000SSi	Choke Ring	내부LAN	옥상/콘크리트	96.5
2	신남원	"	"	"	"	"	98.5
3	서대구	"	"	"	"	"	"
4	제천	"	"	"	"	"	"
5	제주	"	"	"	"	"	99.12

한국지질자원연구원은 지질재해연구를 위하여 GPS 관측소 4개소를 설치 운영하고 있다. 수신장비는 Trimble 4000계열(2주파수)을 사용하고 있으며 센터 컴퓨터에서 원격 제어가 가능하다. GPS 센터에서는 Trimble사의 Remote Controller 소프트웨어를 이용하여 매일 수동으로 원격 관측소의 데이터들을 취득 하고 있다(<표 2-11참조).

<표 2-11> 한국자원연구소의 GPS 관측소 현황

No	관측소	설치 지점	수신기 명칭	안테나 형식	통신망	지지대 형식	운용 시점
1	포항		4000SSi	Choke Ring	PSTN	지반/콘크리트	
2	경주	양남면 효동리	4000SSE	"	"	지반/스테인레스 필라	99.11
3	삼척	삼척시 교동	4000SSi	L1/L2 GP	"	지반/콘크리트	99.8
4	양산	양산시 명곡동	"	Choke Ring	"	지반/스테인레스 필라	00.7

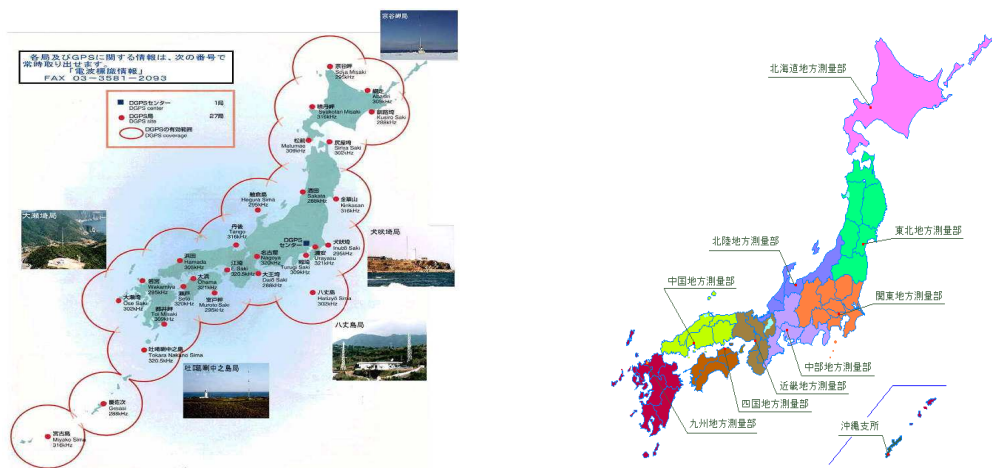
2.4 주변국가의 DGPS 구축 · 운영 및 활용 현황

2.4.1 일본의 DGPS 운영 및 활용

일본 해상보안청에서는 전국 연안 및 도서에 위치한 항로표지관리소에 27개소의 DGPS 기준국을 <표 2-12>과 같이 설치 · 운영하고 있는 동시에 12개소의 지각변동 감시국을 운용하여 2004년 11월 1일부터 30초 간격의 관측자료를 RINEX 형식으로 제공하고 있다. <그림 2-36> a)는 일본 연안을 따라 설치된 DGPS 기준국의 위치와 서비스 영역을 나타낸 것이며, <그림 2-36> b)는 지각변동 감시국의 위치도 이다.

특히, 2004년 11월 1일부터 DGPS 보정신호를 이용한 기상 · 해마 통보 서비스도 개시하였다. 기상관측소는 84개가 있으며 DGPS 기준국 주변 최대 8개소의 기상관측소에서 관측된 기상 · 해상 상황을 문자정보로 DGPS 보정신호에 부가하여 제공하고 있다. 주요 통보사항은 관측시각, 관측장소, 풍향, 풍속, 기압, 파고 자료로서 5분 간격으로 송신하며, 매 30분 마다 자료를 갱신하고 있다.

또한, 일본 국토지리원에서는 수치지도 제작 및 검조소의 조위관측에도 DGPS를 활용하고 있다.



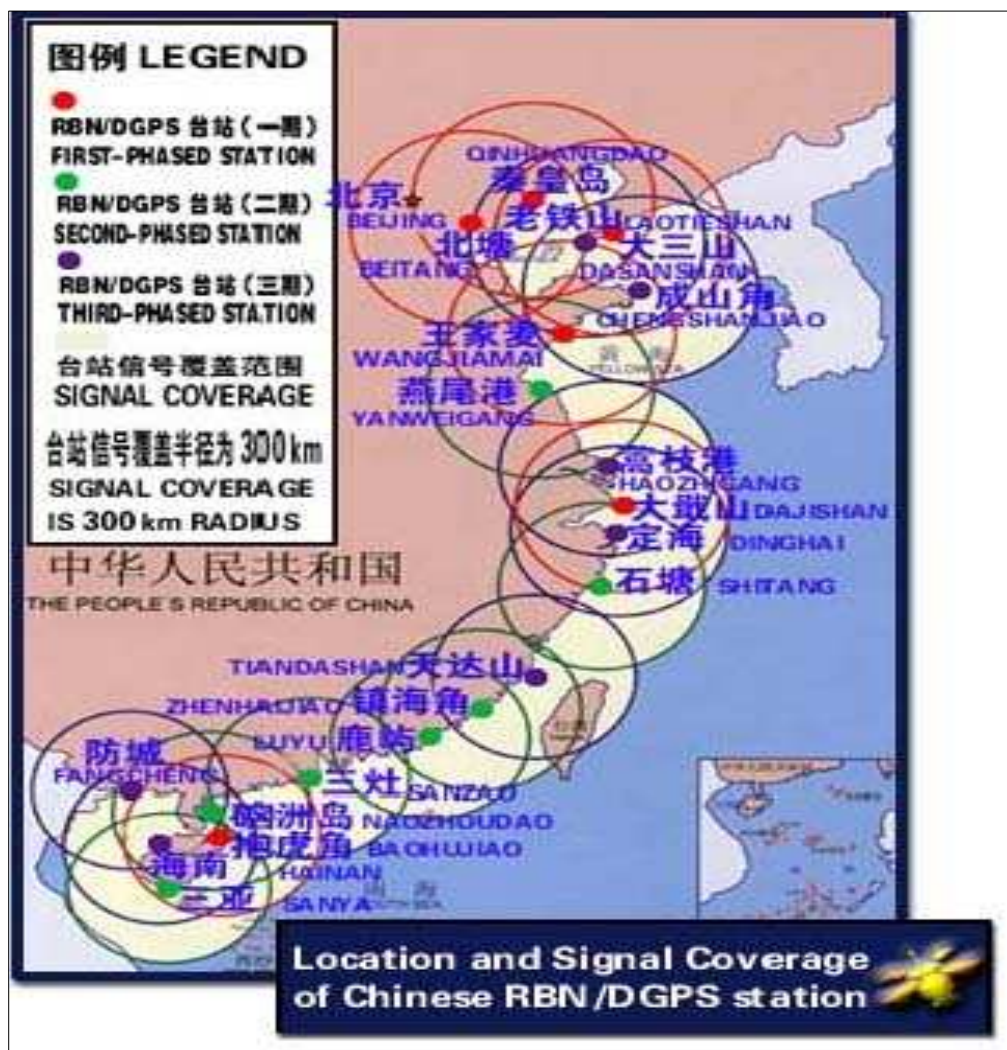
<그림 2-36> 일본의 DGPS a) 기준국 지각변동 b) 감시국

<표 2-12> 일본 DGPS 기준국 현황 (27개소)

기준국	기준국 ID	주파수 (KHz)	IALA 등록 현황 (2002년 1월 최근자료)	IALA 등록정보 상이점
Kushirosaki	660 (661)	288.0	등록	ID 미기재
Abashiri	662 (663)	309.0	등록	ID 미기재
Soyamisaki	664 (665)	295.0	등록	ID 미기재
Shakotan	666 (667)	316.0	등록	ID 미기재
Matsumae	668 (669)	309.0	등록	ID 미기재
Hamada	670 (671)	305.0	등록	
Tanga	672 (673)	316.0	등록	ID 미기재
Hekurashima	674 (675)	295.0	등록	ID 미기재
Sakata	676 (677)	288.0	등록	ID 미기재
Shiriyasaki	678 (679)	302.0	등록	ID 미기재
Kinkasan	680 (681)	316.0	등록	
Inubosaki	682 (683)	295.0	등록	
Urayasu	684 (685)	321.0	등록	ID 미기재
Kensaki	686 (687)	309.0	등록	
Hachijoshima	688 (689)	302.0	등록	
Nagoya	690 (691)	320.0	등록	
Daioasaki	692 (693)	288.0	등록	
Murotosaki	694 (695)	324.0	등록	주파수 변동 (295.0 KHz)
Esaki	696 (697)	320.5	등록	
Ohama	698 (699)	321.0	등록	
Seto	700 (701)	320.0	등록	ID 미기재
Wakamiya	702 (703)	295.0	등록	
Osesaki	704 (705)	302.0	등록	
Toimisaki	706 (707)	309.0	등록	
Nakanoshima	708 (709)	320.5	등록	
Gesashi	710 (711)	288.0	등록	ID 미기재
Miyakoshima	712 (713)	316.0	등록	ID 미기재

2.4.2 중국의 DGPS 운영 및 활용

중국 교통부 해상안전국에 의해 운영되고 있는 21개소의 DGPS Beacon 기준국모두 연안에 위치하고 있다(<그림 2-37> 및 <표 2-13>참조). 특히 Laotieshan과 Haozhigang의 경우는 기준국 ID를 다른 중국내 기준국과는 달리 일반적인 짝수번호 대신 홀수번호도 사용하고 있는 것으로 파악되었다.



<그림 2-37> 중국의 DGPS 기준국 현황

<표 2-13> 중국 DGPS 기준국 현황 (21개소)

기준국	기준국 ID	주파수 (KHz)	IALA 등록 현황 (2002년 1월)	특이점
Dasanshan	602 (603)	301.5	등록	
Laotieshan	(604) 605	307.5	등록	실제 운용 시 ID 605 범용
Qinhuangdao	606 (607)	287.5	등록	
Beitang	608 (609)	310.5	등록	
Chengshanjiao	612 (613)	317.0	등록	
Wangjiamai	614 (615)	313.5	등록	
Yanweigang	620 (621)	291.0	등록	
Haozhigang	(622) 623	304.0	등록	실제 운용 시 ID 623 범용
Dajishan	624 (625)	307.5	등록	
Dinghai	626 (627)	310.0	등록	
Shitang	628 (629)	295.0	등록	
Tiandashan	630 (631)	313.0	등록	
Zhenhaijiao	632 (633)	320.0	등록	
Luyu	640 (641)	317.0	등록	
Sanzao	642 (643)	291.0	등록	
NaoZhoudao	644 (645)	301.0	등록	
Fangchengang	646 (647)	287.0	등록	
Baohujiao	652 (653)	310.5	등록	
Sanya	654 (655)	295.0	등록	
Yangpu	656 (657)	313.0	등록	
KauYiChau	852 (853)	289.0	등록	

제3장 중파대역 전파의 전파특성

3.1 중파대역의 전파특성 모델

3.1.1 중파 전파 이론

서로 직교하는 전계와 자계가 시간적으로 진동하면서 유한한 속도로 자유 공간을 전파되어 가는 것을 전파의 전파(Propagation)라 한다. 이러한 전파경로 부근에 매질이 서로 다른 경계면이 없을 경우 자유공간파(Space wave)라 부르며, 자유공간파는 직진성을 갖는다. 그러나 전파경로 부근에 어떤 매질 정수가 서로 다른 경계면이 있는 경우 전파는 그 매질의 표면을 따라 진행한다. 이러한 전파형태를 표면파 (Surface wave)라 부르며, 표면파는 표면이 휘어지면 전파경로도 휘어진다.

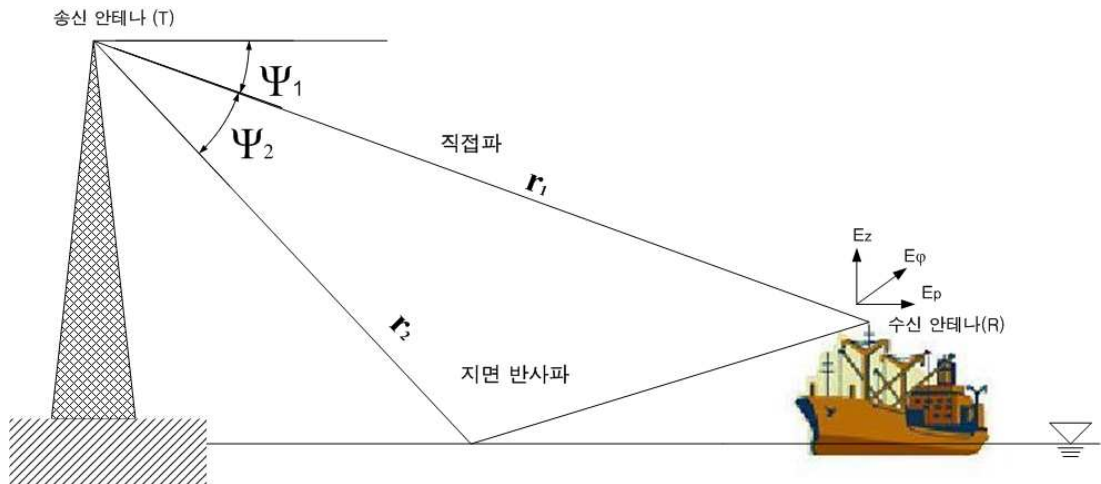
그러나 현실적으로 위성통신의 경우를 제외하고는 대부분의 통신이 지구 표면의 송수신 안테나 사이에 이루어짐으로 자유공간파(Space wave)는 송신단에서 수신단으로 직접 전파되는 직접파와 지표나 지상의 건축물 등에 의해서 반사되어 전파되는 반사파로 나뉘어 진다. 또 표면파 중에서 지구의 표면을 따라 전파되는 파를 지표파(Ground wave)라 부르며, 지구의 양극을 따라 전파하기 때문에 자유공간파와 달리 지평선의 그늘에 의한 전파범위의 차단은 발생하지 않는 대신에 지표파는 지구표면에 전류를 흐르게 하면서 진행하는데 따른 전파손실 때문에 그 활용범위가 근거리 통신으로 제한된다(주파수에 따라 달라지지만 중파대에서 200~300km 이내).

또한 자유공간파 중에서 상공으로 향한 전파는 지구상공 80~300km높이에 있는 D, E, F1, F2 등 전리층에서 반사되어 다시 지표로 되돌아 오는데, 이것을 공간파(Sky wave) 또는 전리층 반사파(Ionospheric wave)라 하며, 이것 또한 지평선에 의한 도달거리의 제약을 받지 않으므로 원거리 통신의 주역이 되고 있다. 이 연구에서는 DGPS 보정신호 전달거리가 200km 이내로 공간파에 의한 영향보다는 지표파에 의한 영향이 우선시 되기 때문에 이에 대하여 중점적으로 다루었다.

1. 중파의 전파 특성

ITU에서 할당된 DGPS용 주파수는 283.5~325KHz 이며, 이용범위는 대개 300km 이내이기 때문에 이 상황에서는 전파의 전파는 주로 지표파의 형태로 이루어진다. 지표파는 일반적으로 전파하는 거리에 따라 감쇄하지만 지표에 수직하는 편파를 가지고 지표에 전하를 이동시키는 방법으로 전파하기 때문에 지표내의 도전율에 따라 감쇄의 크기가 결정된다. 일반적으로 해수에서는 도전율이 크고 육지에서는 작다.

중파대역 전파 특성에서 무시할 수 없는 자유공간파는 <그림 3-1>과 같이 직접파와 반사파로 구분할 수 있다.



<그림 3-1> 직접파와 지면 반사파의 구조

<그림 3-1>에서처럼 송신측 안테나 T가 지표면에서 일정 높이에 위치해 있다고 할때 r_1 만큼 떨어진 거리에서 수신안테나에 인가되는 전압 V 는 직접파와 지면 반사파의 합으로 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$V = Q \left\{ Q_1 \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1} + Q_2 R \frac{\exp(-jkr_2)}{r_2} \right\} \quad (3-1)$$

r_1 : 송신안테나에서 수신 안테나까지의 거리
 r_2 : 송신안테나에서 반사지면까지의 거리
 I : 송신안테나에 흐르는 전류
 Q : 상수
 Q_1, Q_2 : 각각 송·수신안테나의 폴라 다이어그램
 R : 지면에서의 반사 계수

전파의 주파수가 VHF 대역 이상일 경우 식(3-1)은 거의 완벽한 결과를 제공한다. 하지만, 중파에 대한 전파 특성을 알아보고 수신 지점 R에서의 좀더 정확한 결과를 얻어내기 위해서는 식(3-1)에 표면파에 의해 수신안테나에 인가되는 전압을 포함시켜야 한다.

$$V = Q \left\{ Q_1 \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1} + Q_2 \frac{\exp(-jkr_2)}{r_2} + S \frac{\exp(-jkr_2)}{r_2} \right\} \quad (3-2)$$

여기서 S는 표면의 전기적 성질, 파의 편파, 주파수, 터미널의 위치에 따라 달라지는 양이다.

표면파는 HF(High Frequency)와 더 낮은 주파수 대역에서의 전파에 가장 큰 영향을 미친다. 특히 송·수신 안테나들이 지면에 가까이 위치하고 있을 때는 직접파와 지면 반사파가 서로 상쇄되기 때문에 표면파만이 파의 전파에 영향을 미치게 된다. 그러므로, 표면파는 전리층 반사가 일어나지 않는 동안 중파 방송대역에서 신호를 전송하기 위해 사용된다. 또한 LF(Long wave Frequency) 대역의 방송, VLF(Very Long wave Frequency)/LF 대역에서의 통신과 항법 시스템, 그리고 HF 대역에서 짧은 거리의 통신과 레이더에서도 표면파가 사용된다.

실제 통신에 이용되는 파는 다음과 같은 항으로 정리할 수 있다.

$$\text{지상파} = \text{직접파} + \text{지면 반사파} + \text{표면파}$$

전리층 교신에 의해 전파되는 파와 달리 표면파는 신호 크기의 감쇄만이 있을 뿐 확산에 대해서는 큰 영향을 받지 않는다. 이 같은 성질 때문에 광대역 신호의

전송에는 주로 표면파가 이용된다.

Sommerfeld와 Norton은 각각 짧은 수직 전류 소자에 의해 생기는 지상파의 전계 강도를 알아내기 위한 식을 유도했다. 이는 식(3-2)에서 다음과 같이 유도된다.

$$E_z = \beta_0 k l d \left[\left\{ \cos^2 \Psi_1 \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1} + \cos^2 \Psi_2 R_v \frac{\exp(-jkr_2)}{r_2} \right\} + \left\{ (1 - R_v)(1 - u^2 + u^4 \cos^2 \Psi_2) F \frac{\exp(-jkr_2)}{r_2} \right\} \right] \quad (3-3)$$

$$E_p = -\beta_0 k l d \left[\sin \Psi_1 \cos \Psi_1 \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1} + \sin \Psi_2 \cos \Psi_2 R_v \frac{\exp(-jkr_2)}{r_2} - \cos \Psi_2 (1 - R_v) u \sqrt{(1 - u^2 \cos^2 \Psi_2)} \left\{ 1 - \frac{u^2}{2} (1 - u^2 \cos^2 \Psi_2) + \frac{\sin^2 \Psi_2}{2} \right\} F \frac{\exp(-jkr_2)}{r_2} \right] \quad (3-4)$$

Ψ_1, Ψ_2 : <그림 3-1> 참고

j : $\sqrt{-1}$

k : 전파 상수 $2\pi/\lambda$

u :

Idl : 다이폴 모멘트

R_v : 수직 편파에 대한 반사 계수

F : 표면의 종류와 경로 길이에 따른 감쇄

이때, 감쇄 함수 F 는 다음과 같이 나타난다.

$$F = [1 - \sqrt{\pi} w \exp(-w) \{ \operatorname{erfc}(\sqrt{\pi} w) \}] \quad (3-5)$$

여기서 $\operatorname{erfc} = 1 - \text{error function}$

$$w = \frac{-j2kr_2 u^2 (1 - u^2 \cos^2 \Psi_2)}{(1 - R_v)^2} \quad (3-6)$$

$$u^2 = \frac{1}{(\varepsilon_r - jx)} \quad (3-7)$$

$$x = \frac{\sigma}{\omega \varepsilon_0} = 1.8 \times 10^{10} \frac{\sigma}{f} \quad (3-8)$$

이며, σ 와 $\varepsilon_r = \varepsilon/\varepsilon_0$ 는 각각 표면의 도전율(S/m)과 비유전율이고 f 는 주파수를 의미한다.

송·수신 터미널이 땅에 가까운 특별한 경우에 한해 식은 더욱 간단해질 수 있다. 식(3-3)과 식(3-4)에서 R_v 의 값은 거의 -1이 되고 $\psi_1 = \psi_2 = 0$ 이 된다. 따라서 직접파와 반사파의 합은 0이 되고, 표면파만이 남아서 전파하게 되기 때문에 식(3-3)과 식(3-4)은 다음과 같이 간략화 된다.

$$E_z = j60kId\lambda(1 - u^2 + u^4)F \frac{\exp(-jkz)}{r} \quad (\text{수직 성분}) \quad (3-9)$$

$$E_\rho = j60kId\lambda \{ u\sqrt{(1-u^2)(2-u^2+u^4)} \} F \frac{\exp(-jkz)}{r} \quad (\text{수평 성분}) \quad (3-10)$$

표면파의 성분을 살펴보면 수직 성분과 수평 성분이 모두 존재하는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 표면파가 약간 기울어져 전파한다는 것을 알 수 있다. 이 같은 현상은 표면파의 감쇄를 발생시킨다. 기울어진 각도가 커질수록 감쇄의 정도가 커진다. 식(3-9), 식(3-10)에서 간단하게 성분간의 비율을 다음과 같이 구해볼 수 있다.

$$\frac{E_\rho}{E_z} \approx u = \frac{1}{\sqrt{K_r}} \quad (3-11)$$

K_r 은 표면의 복소 유전율을 나타낸다. 이 값은 주파수와 표면의 전기적 특성에 의해 변화한다.

또한, 식(3-9)에서 $(1 - u^2 + u^4)$ 는 실제 환경에서 1에 가까운 값을 가진다. 따라서 전체의 수직 성분의 크기는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$|E_z| = \frac{300}{r} \sqrt{P|F|} \quad (3-12)$$

$P(\text{kW})$ 는 방사된 전력을 뜻하고, $r(\text{km})$ 은 경로의 길이, $E_z(\text{mV/m})$ 는 전계의 강도를 나타낸다.

2. 감쇄 요소 (Attenuation factor) 계산

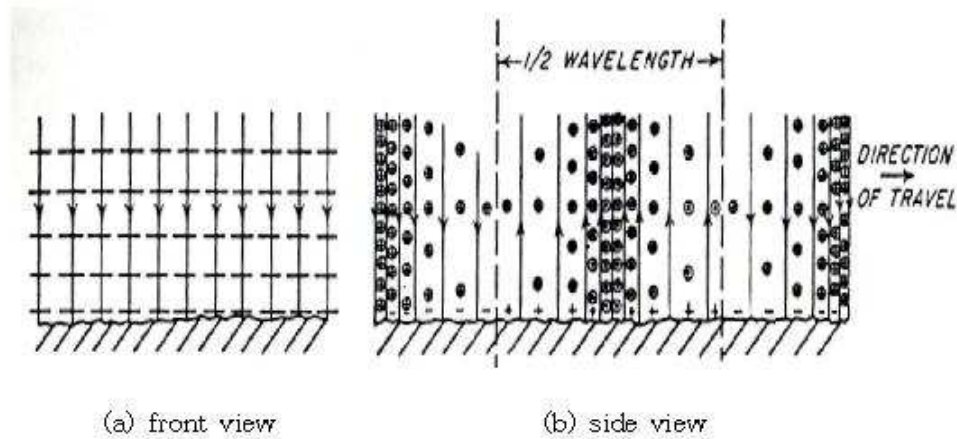
HF, MF, LF등의 주파수에서 지구는 순수저항으로 간주된다. 따라서 지구의 등가 회로는 저항 R 과 전기용량 C 가 병렬로 연결된 형태로 볼 수 있다.

이때 $R \ll 1/\omega C$ 일 경우 전류는 저항을 통해서 흐르게 되며 저항이 주요한 효과로 작용한다. 즉, 감쇄요소(attenuation factor)에서 주파수와 지구의 정전용량이 주요한 요소로 작용한다.

주파수가 10MHz이상에서는 전기용량이 주요하게 작용하므로 주어진 실제 거리에서 표면파를 위한 감쇄 요소는 주파수와 dielectric constant가 주요한 요소가 된다. 표면파의 감쇄는 지표전류가 뚜렷한 크기를 갖고 침투할 수 있는 지구 지표 두께까지의 정전용량과 dielectric constant의 평균값에 의해 결정된다.

이것은 양도체에서의 표피효과(skin depth) 현상과 유사하다. 표면파 전류의 투과 두께는 주파수, dielectric constant, 정전용량에 의해 결정되는데, 이런 이유로 인하여 저주파에서는 실제 지표면의 상태에는 별 영향을 받지 않는다. 따라서 비나 폭우에 의한 영향은 주요한 인자가 되지 못한다.

표면파는 공기 중을 전파하는 것이 아니라 표면에 흐르는 전류에 의해 전파하는 것이다. 수평 편파된 파는 매우 심하게 감쇄하여 실제로 사용될 수가 없다. 이에 비해 수직 편파는 그 감쇄의 정도가 심하지 않기 때문에 표면파를 이용하는 통신에서는 수직으로 편파된 파를 사용한다.



<그림 3-2> 지구표면을 전파하는 수직 편파된 표면파의 front, side 모습

<그림 3-2>에 지구표면을 전파하는 수직편파 된 표면파의 모습을 나타내는데, 실선은 전계를 나타내며 점선은 자계를 나타낸다.

표면파가 지구의 표면을 따라 전파함에 따라 에너지가 감소하는데 이는 지구의 에너지 흡수에 의한 결과이다. 따라서, 중파 전파 모델링 식을 계산함에 있어서 감쇄 요소의 계산은 중요하다고 할 수 있겠다. 감쇄요소 $|F|$ 의 크기는 도전율과 유전율 및 주파수 등 여러 가지 요인에 따라 다르게 변화한다.

지표의 영향을 고려한 전계 강도식을 구하기 위하여는 (3-12)에 언급한 감쇄 요소인 F 의 식을 유도하여 새로운 전계 강도 식을 만들어야 한다.

F 는 주파수, 거리 및 대지의 도전율 및 유전율에 의하여 좌우되는 것이며, 위상 상수 b 와 numerical distance p 에 의한 함수로서 나타내어진다. 여기서 Numerical distance는 1909년 Sommerfeld가 상공파 파장 길이로 잰 거리와 표면파 파장 길이로 잰 거리의 차를 Numerical distance로 정의하였으며, 상공파는 파장 길이가 길며 상대적으로 지표파는 도전율이나 유전율에 의한 감쇄에 의해 파장 길이가 감소함으로 둘 간의 차가 곧 감쇄의 요소로 작용한다고 판단하고 이를 감쇄 요소로 사용하였다.

$$p = \frac{\pi}{x} \cdot \frac{x}{\lambda} \cdot \cos b \quad (3-13)$$

$$\tan b = \frac{\varepsilon + 1}{x} \quad (3-14)$$

$$x = \frac{1.8 \times 10^{10} \cdot \sigma}{f} \quad (3-15)$$

식(3-13)에서 p 는 Numerical distance이며 r 은 수신단과 송신단 사이의 거리이다.

x 는 식(3-8)에서 언급한 것과 같은 파라미터이며 위상상수 b 는 \arctan 로서 구할 수 있다. 위 식에서의 p 와 b 를 구하여 F 에 관한 아래 <그림 3-3>의 그래프에 대입하여 구할 수 있다.

<그림 3-3>에서 볼 수 있는 것과 같이 감쇄 요소 F 는 p 가 20보다 큰 범위에서는 b 와 관계없이 일정한 그래프가 나타남을 알 수 있다. p 가 20이상에서는 $1/2p$ 의 그래프에 따라 감소한다.

이들 데이터를 가장 체계인 수식으로 근사화한 사람이 Van Der Pol이며 Van Der Pol은 근사적으로 b 가 5° 보다 작은 범위에서는 비교적 정확한 수식을 구하였으나, b 가 클수록 수식과 그래프와의 오차가 커지는 단점을 극복하지 못하였다. 이에 1983년 Ronglong Li에 의해 쓰여진 Empirical approximations의 정확성에 대한 논문에서 b 의 각에 따른 더욱 더 정확하고 세밀한 식이 언급되었다. 이식에 의하면 위의 그래프의 실험적인 값을 더욱 정확한 이론식으로 근사화 시킬 수 있었다.

이 논문을 근거로 한 F 에 관한 식들은 b 와 p 를 구간별로 나뉘어 계산하였고 아래의 식과 같이 나타내어진다.

$$F_{1(p, b)} = \frac{1}{2p - 3.7} \quad (b < 5^\circ, p > 4.5) \quad (3-16)$$

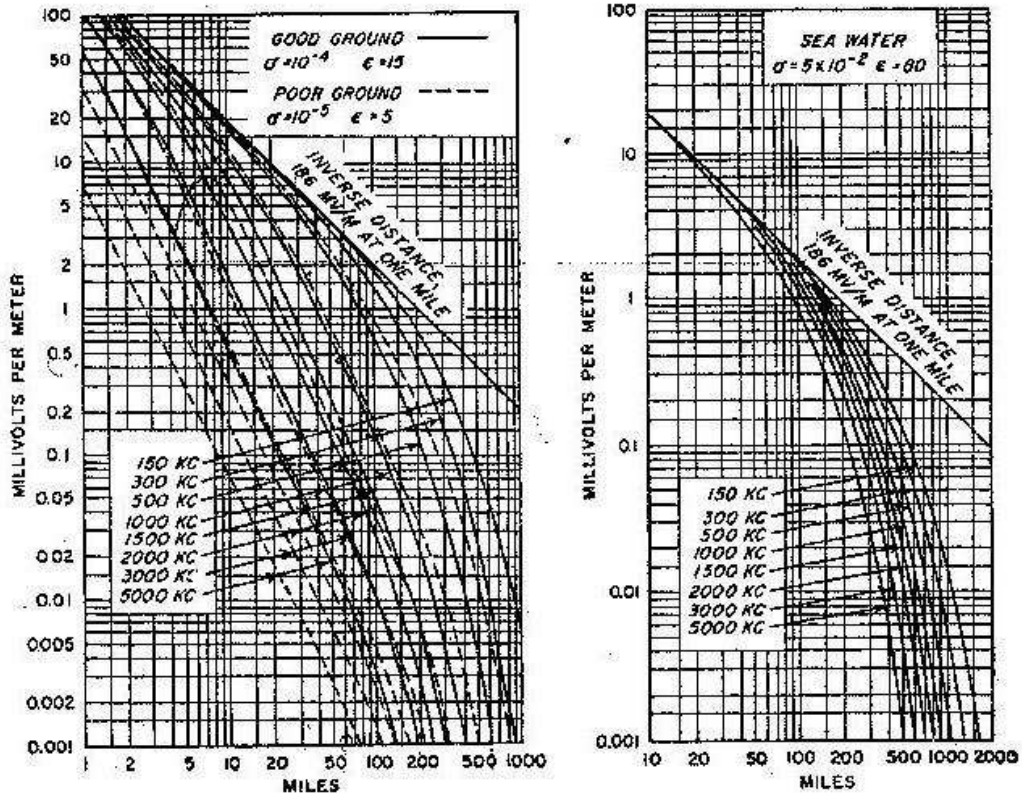
$$F_{2(p, b)} = e^{-0.43p + 0.01p^2} \quad (b < 5^\circ, p \leq 4.5) \quad (3-17)$$

$$F_{3(p, b)} = e^{-0.43p + 0.01p^2} - \frac{\sqrt{p}}{2} \sin b e^{\frac{-5p}{8}} \quad (b > 5^\circ, p \leq 4.5) \quad (3-18)$$

$$F_{4(p, b)} = \frac{1}{2p - 3.7} - \sqrt{\frac{p}{2}} \sin b e^{\frac{-5p}{8}} \quad (b > 5^\circ, p > 4.5) \quad (3-19)$$

위의 F 에 관한 식들은 Numerical distance p 와 b 에 따라 세분화하여 그 정확성을 높였으며 이는 p 가 20보다 작은 영역에서 b 의 값에 따른 p 와 F 의 함수에 대

해 매우 정확한 근사식이다.



<그림 3-3> numerical distance p 와 위상 상수 b 의 함수로 나타낸
지표와 감쇄 요소(F. Terman, 1955)

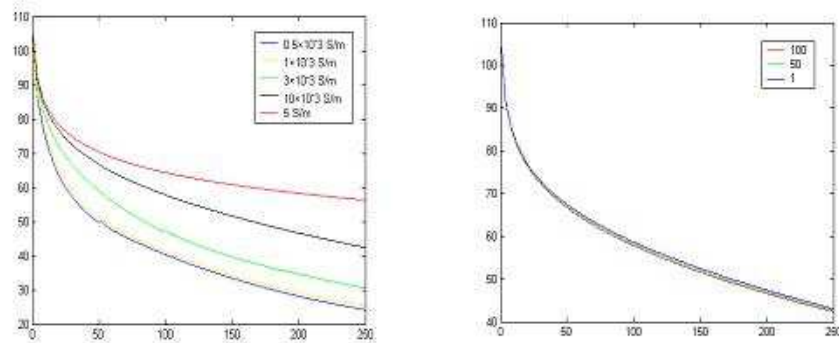
일반적으로 ITU-R에서 권고하는 바다의 도전율은 최대 7 S/m에서부터 3 S/m이다. 우리나라는 일반적으로 5 S/m를 사용하였다. 바다의 도전율은 일반적으로 해수의 온도에 따라 다르게 나타나고 있는데 우리 나라 같이 4계절이 뚜렷하게 나타나는 지역에서는 그 값을 정확하게 예측하기가 어렵다. 하지만 온도에 따라 도전율의 값이 크게 변화하지 않으므로 일반적인 평균값을 취하여 사용하고 있다. <그림 3-4>에서 보는 바와 같이 우리나라 실정에 맞는 0.5-10 mS/m의 도전율을 적용하였을 때의 전계 강도세기를 알 수 있다. 맨 위에 나타나는 것이 바다의 도전율에 대한 전계 강도 나타내며 제일 아래쪽의 그래프가 0.5 mS/m일 경우의 전계 강도를 나타내고 있다(<그림 3-4>참조).

실질적으로 바다에 대한 도전율 값에 관한 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma = 0.18 \times C^{0.93} (1 + 0.02(T - 20)) \quad (3-20)$$

식에서 보는 바와 같이 바다 도전율의 값은 해수의 온도 및 염분의 정도에 따라 다르게 나타남을 알 수 있다.

<그림 3-4>은 국내 도전율에 따른 전계 강도 변화를 나타내고 있다. 대체적으로 도전율에 따라 그래프의 기울기가 변화하고 도전율이 클수록 전계 강도가 커짐을 알 수 있었다. 우측의 그림은 보는 바와 같이 유전율에 따른 전계 강도의 세기를 나타내고 있다. 앞서의 식에서 보는 바와 같이 전계 강도는 도전율뿐만 아니라 유전율에도 영향을 미침을 알 수 있었다.



<그림 3-4> 도전율 및 유전율에 따른 전계 강도 변화

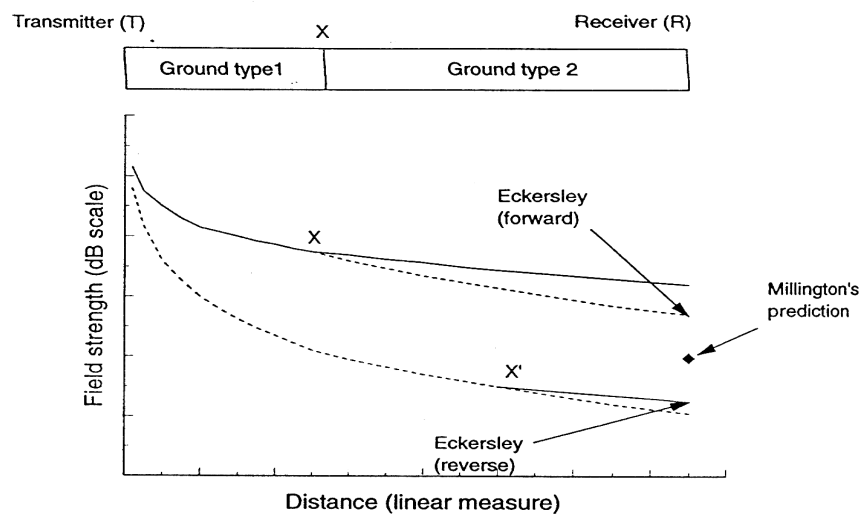
3. 혼합경로 이론

혼합경로에 의한 영향을 기술하는데 있어 일반적으로 가장 많이 사용되는 방법은 Millington method이다. Millington은 도전율이 변화하는 지역에서 어떤 일이 발생하는가에 대한 연구를 시작하였으며, 그 결과 도전율이 변화하는 지역에서 표면파에 약간의 왜곡이나 장애가 발생한다는 사실을 발견하게 되었다.

초기에 Eckresley에 의해서 제시된 혼합 도전율에서의 표면파의 변화 곡선은 도전율이 변화하는 지역에서 그 지역에 맞는 표면파의 감쇄 곡선을 따라 표면파가 변화하는 Eckersley forward 방식을 채택하였으며 이는 ITU-R에 의해 제정되었다.

하지만 여기에서는 중요한 점이 간과되었는데, 이는 수신과 송신사이의 path에 반드시 적용되어야 하는 상호 작용(reciprocity)에 대한 고려가 되어 있지 않았다는 것이다. Reciprocity는 수신단과 송신단을 서로 바꾸어도 수신단에서의 전계가 바뀌지 않는다는 이론이며, 이는 안테나에서 반드시 적용되는 이론이다. 이에 대한 오류 사실은 실제 실험에서도 잘 나타나고 있다.

후에 Eckersley는 이를 보완하기 위해 Eckersley backward 방식을 새롭게 도입하였지만 Millington은 이 두 가지 방식을 서로 조합하여 평균값을 취하는 방식의 Millington method를 제안하였다. (<그림 3-5>참조).



<그림 3-5> Millington method prediction

혼합된 도전율을 지나는 신호에 대한 전파예측은 <그림 3-5>에서 보는 바와 같이 송신단 T에서 도전율이 바뀌는 X 지점까지는 ground type 1의 도전율을 적용한 표면과 전계식을 따르다가 X 지점을 지난 후는 ground type 2의 도전율을 적용한 표면과 전계식을 따른다.

이는 Eckersley forward 방식이며 다시 송신단 T와 수신단 R을 바꾼 후 다시 새롭게 적용하면 초기에 ground type 2의 도전율로 원래 거리 X에서 수신단 R까지의 거리만큼 적용한 후 다시 송신단 T부터 X까지의 거리만큼은 ground type 1의 도전율을 적용하는 Eckersley backward 방식을 적용한다. 이 두 방식의 평균값을 취한 것이 <그림 3-5>에서 볼 수 있듯이 Millington's prediction 지점이 된

다.

이는 도전율이 서로 다른 2개에 대한 예이며 이를 n 개의 서로 다른 도전율에 적용할 수 있다.

Millington method는 송신단과 수신단 사이의 분리된 path에서 작동하며, 이는 수신단과 송신단 사이에 다음의 두 가지 벡터가 요구된다.

$$[\sigma_1 \dots \sigma_I] \quad (3-22)$$

$$[\Delta_1 \dots \Delta_I] \quad (3-23)$$

첫 번째(식3-22)는 송신단과 수신단 사이의 path를 각각 N 개의 다른 도전율로 나눈 벡터이다.

두 번째(식3-23)는 N 개의 서로 다른 도전율에 대응되는 거리를 나타내는 벡터이다. 만약 송신단과 수신단 사이의 서로 다른 도전율이 4개라고 가정한다면 위 벡터들은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\{\sigma_i\}_{i=1}^{I=4} \quad (3-24)$$

$$\{\Delta_i\}_{i=1}^{I=4} \quad (3-25)$$

Millington method의 forward식은 다음과 같다.

$$d_i = \sum_{j=1}^{i-1} \Delta_j \quad (3-26)$$

$$E_{fwd} = E(\sigma_1, \Delta_1) - \sum_{i=1}^I \{E(\sigma_i, d_i) - E(\sigma_i, d_{i+1} \Delta_i)\} \quad (3-27)$$

Millington method 의 backward방식은 다음과 같다.

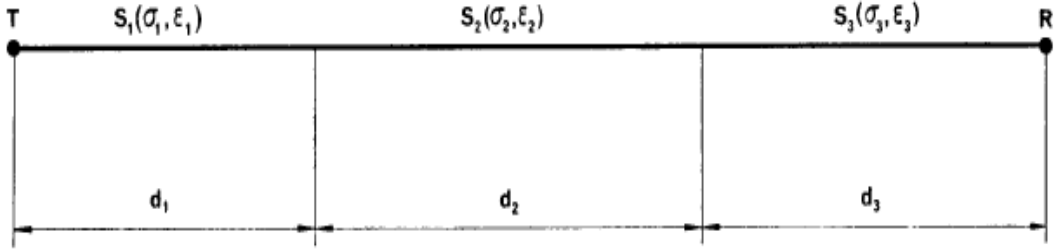
$$\overline{d_i} = \sum_{j=I+1}^I \Delta_j \quad (3-28)$$

$$E_{bac} = E(\sigma_I, \Delta_I) - \sum_{i=1}^{I-1} \{E(\sigma_i, \overline{d_i}) - E(\sigma_i, \overline{d_{i+1} \Delta_i})\} \quad (3-29)$$

Millington method의 최종 식은 다음과 같다.

$$E_{tot} = \frac{1}{2}(E_{fwd} + E_{bac}) \quad (3-30)$$

위식을 N이 3일 경우의 식을 풀면 forward와 backward는 다음과 같이 나타난다(<그림 3-6>참조).



<그림 3-6> 3개의 경로를 거치는 지형에서의 Millington method

위의 그림은 송신단 T에서 수신단 R 까지의 거리에 서로 다른 3개의 유전율과 도전을 및 거리 d를 갖는 path를 가정해 보자. section S_1 의 전계 강도는 σ_1 과 ϵ_1 을 갖는 거리 d_1 까지의 전계 강도를 $E(\sigma_1, d_1)$ 로 나타내고 있다.

section S_2 의 전계 강도는 $-E(\sigma_2, d_1) + E(\sigma_2, d_1 + d_2)$ 에 의해 결정되어진다.

section S_3 는 $-E(\sigma_3, d_1 + d_2) + E(\sigma_3, d_1 + d_2 + d_3)$ 에 의해서 결정되어진다. 따라서 수신단 R에서의 수신전계 강도는 E_{fwd} 의 전계 강도 값과 같이 나타내어진다.

$$\begin{aligned} E_{fwd} &= E(\sigma_1, d_1) - E(\sigma_2, d_1) + E(\sigma_2, d_1 + d_2) \\ &\quad - E(\sigma_3, d_1 + d_2) + E(\sigma_3, d_1 + d_2 + d_3) \end{aligned} \quad (3-31)$$

마찬가지로 위의 과정을 반대로 하면 수신단 R은 송신단이 되고 송신단 T는 수신단이 되어 수신단에서의 전계 강도를 계산하면 아래와 같은 결과 값이 나온다.

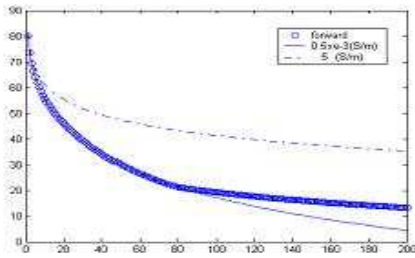
$$\begin{aligned} E_{bac} &= E(\sigma_3, d_3) - E(\sigma_2, d_3) + E(\sigma_2, d_3 + d_2) \\ &\quad - E(\sigma_1, d_3 + d_2) + E(\sigma_1, d_3 + d_2 + d_1) \end{aligned} \quad (3-32)$$

결국 최종적으로 수신단 R에서의 전계강도 값을 구하면 아래의 식(3-33)과 같

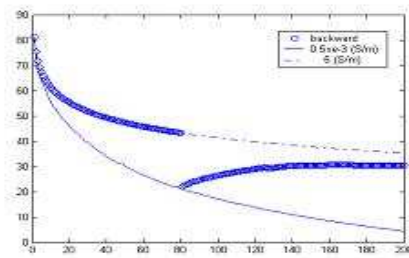
은 결과 값이 나옴을 알 수 있다.

$$E_{tot} = \frac{1}{2}(E_{fwd} + E_{bac}) \quad (3-33)$$

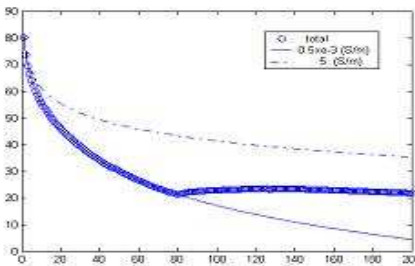
다음은 두 개의 서로 다른 도전율을 거치는 경로에 관한 전계 강도를 나타낸 그림이다(<그림 3-7>참조).



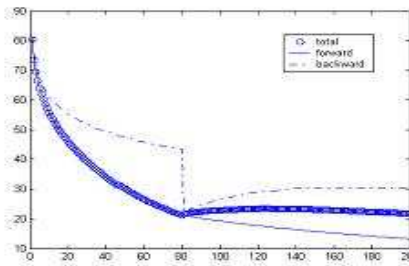
(a) Millington method(forward)



(b) Millington method(backward)



(c) Millington method(total)



(d) Millington method

<그림 3-7> 2개의 경로를 거치는 지형의 Millington method

그림 (a)은 도전율이 5 (S/m)인 지역과 0.5×10^{-3} (S/m)인 두 개의 경로를 거치는 지역에서의 forward 방식의 전계 강도를 나타내는 그래프이다. 우선적으로 80km까지는 5×10^{-3} (S/m)의 도전율로 가다가 80부터 200km까지는 5 (S/m)인 도전율로 전파하고 있다. 앞서의 설명에서와 같이 그림 (b)은 backward 방식을 나타내고 있다. 결과적으로 실제 전파 분석에서 나타나는 그래프는 그림 (c) 와 그림 (d)에서 나타나는 Millington method의 최종 그래프가 된다.

이를 서로 다른 여러 개의 경로에 적용한 값들이 실제 중파 모델링 알고리즘에 적용된다.

3.2. 해양용 DGPS 보정신호 전계강도 조사

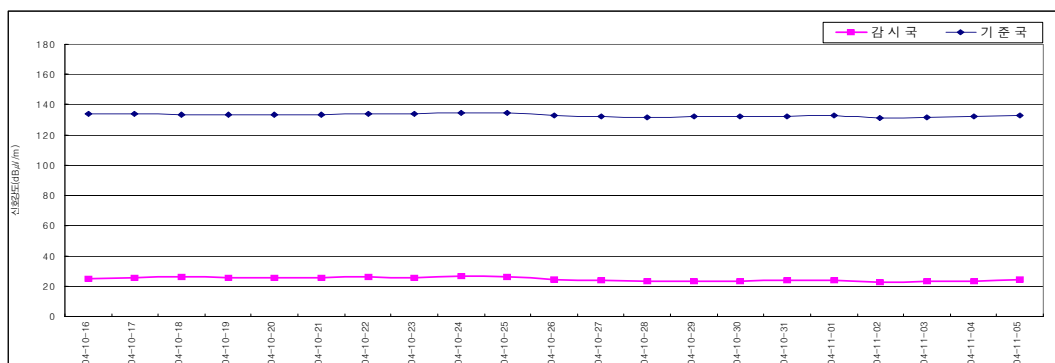
3.2.1 소청도 DGPS 보정신호 전계강도 특성

2004년 10월 16일부터 11월 5일까지 소청도 DGPS 기준국의 보정신호 일변화량을 살펴보면, $131.20\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} \sim 134.61\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 $3.41\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내의 안정된 변화량을 나타내고 있다. 소청도 DGPS 보정신호를 167Km 떨어진 옹도 DGPS 감시국에서 측정한 결과 $22.49\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} \sim 26.51\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내의 평균 $24.63\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 미국 해안경비대의 유효 전계강도 기준치 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 에 미치지 못함을 알 수 있다(<표 3-1> 및 <그림 3-8> 참조).

<표 3-1> 소청도 기준국 및 옹도 감시국의 전계강도 실측치
($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)

월 일	소청도 기준국	옹도 감시국	월 일	소청도 기준국	옹도 감시국	월 일	소청도 기준국	옹도 감시국
10.16	133.98	25.07	10.23	134.29	25.67	10.30	132.40	23.52
10.17	133.86	25.58	10.24	134.59	26.51	10.31	132.33	23.67
10.18	133.58	25.98	10.25	134.61	25.88	11.01	132.82	23.59
10.19	133.50	25.65	10.26	133.14	24.54	11.02	131.20	22.49
10.20	133.35	25.77	10.27	132.04	23.68	11.03	131.96	23.43
10.21	133.65	25.58	10.28	131.78	23.24	11.04	132.21	23.56
10.22	134.22	26.12	10.29	132.15	23.44	11.05	132.79	24.23
평 균							133.07	24.63

(자료출처 : 해양수산부, '04.10.16~11.5)



<그림 3-8> 소청도 기준국 및 옹도 감시국의 전계강도 일변화량

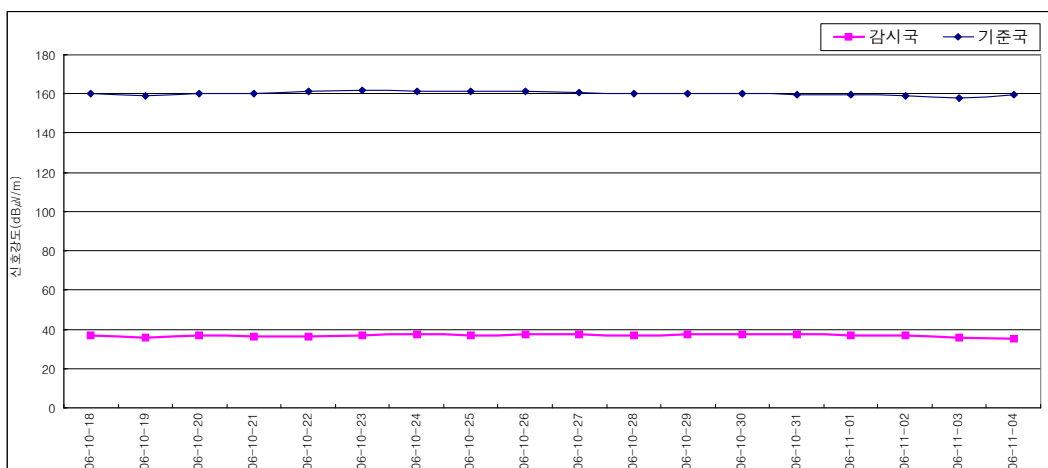
3.2.2 팔미도 DGPS 보정신호 전계강도 특성

2006년 10월 18일부터 11월 4일까지 팔미도 DGPS 기준국의 보정신호 일변화량을 살펴보면, $157.58\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} \sim 161.57\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 $3.99\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내의 안정된 변화량을 나타내고 있다. 팔미도 DGPS 보정신호를 166Km 떨어진 옹도 DGPS 감시국에서 측정한 결과 $35.47\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} \sim 37.42\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내의 평균 $36.47\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 유효 전계강도 기준치 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 에 근접한 값을 나타내고 있다.(<표 3-2> 및 <그림 3-9> 참조).

<표 3-2> 팔미도 기준국 및 말도 감시국의 전계강도 실측치
($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)

월 일	팔미도 기준국	말도 감시국	월 일	팔미도 기준국	말도 감시국	월 일	팔미도 기준국	말도 감시국
10.18	160.35	36.63	10.24	161.05	37.42	10.30	160.17	37.53
10.19	158.88	35.72	10.25	161.20	36.67	10.31	159.43	37.27
10.20	159.90	36.89	10.26	161.12	37.35	11.01	159.63	37.02
10.21	159.89	36.46	10.27	160.65	37.44	11.02	158.83	36.84
10.22	161.08	36.33	10.28	160.39	37.08	11.03	157.58	35.90
10.23	161.57	36.73	10.29	160.23	37.42	11.04	159.30	35.47
평 균							160.07	36.79

(자료출처 : 해양수산부, '06.10.18~11.4)



<그림 3-9> 팔미도 기준국 및 말도 감시국의 전계강도 일변화량

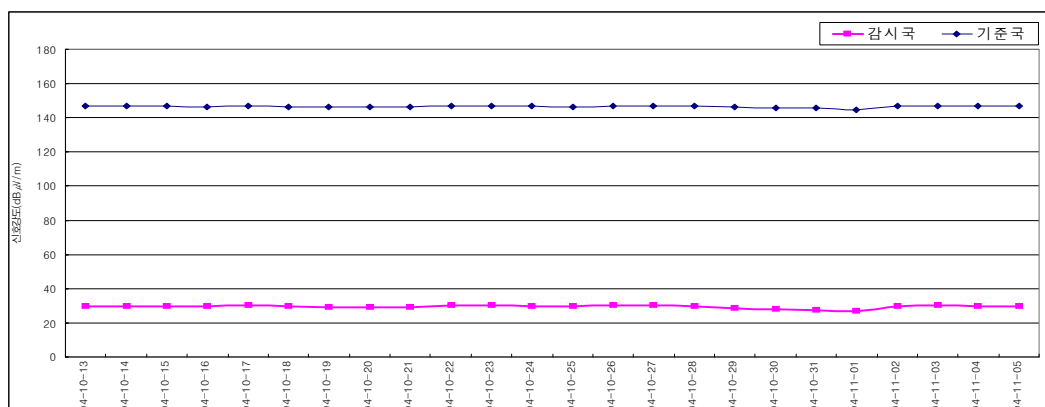
3.2.3 어청도 DGPS 보정신호 전계강도 특성

2004년 10월 13일부터 11월 3일까지 어청도 DGPS 기준국의 보정신호 일변화량을 살펴보면, $144.90\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} \sim 147.08\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 $2.18\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내의 안정된 변화량을 나타내고 있다. 어청도 DGPS 보정신호를 171Km 떨어진 용도 DGPS 감시국에서 측정한 결과 $26.73\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} \sim 29.99\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내의 평균 $29.29\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 낮게 나타나 유효 전계강도 기준치 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 에 미치지 못함을 알 수 있다(<표 3-3> 및 <그림 3-10> 참조).

<표 3-3> 어청도 기준국 및 용도 감시국의 전계강도 실측치
($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)

월 일	어청도 기준국	용도 감시국	월 일	어청도 기준국	용도 감시국	월 일	어청도 기준국	용도 감시국
10.13	146.69	29.71	10.21	146.34	28.96	10.29	146.29	28.49
10.14	146.97	29.77	10.22	146.89	29.94	10.30	145.69	27.73
10.15	146.89	29.69	10.23	146.98	29.99	10.31	145.59	27.43
10.16	146.63	29.54	10.24	146.74	29.57	11.01	144.90	26.73
10.17	146.69	29.96	10.25	146.65	29.34	11.02	146.71	29.51
10.18	146.61	29.39	10.26	146.90	29.97	11.03	147.08	29.96
10.19	146.57	28.98	10.27	147.07	29.99	11.04	147.07	28.89
10.20	146.46	29.08	10.28	146.72	29.79	11.05	146.79	29.56
평 균							146.57	29.29

(자료출처 : 해양수산부, '04.10.13 ~ 11.3)



<그림 3-10> 어청도 기준국 및 용도 감시국의 전계강도 일변화량

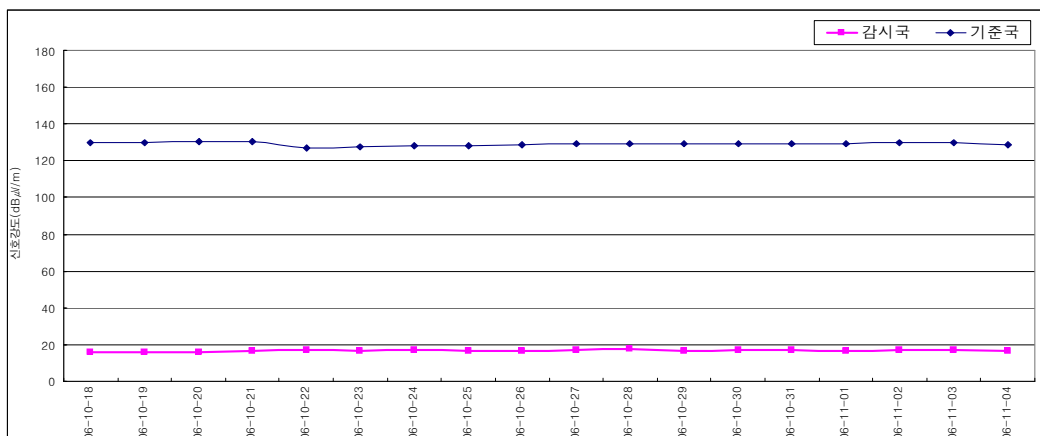
3.2.4 소흑산도 DGPS 보정신호 전계강도 특성

2006년 10월 18일부터 11월 4일까지 소흑산도 DGPS 기준국의 보정신호 일변화량을 살펴보면, $128.10\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} \sim 130.37\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 $2.27\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내의 안정된 변화량을 나타내고 있다. 소흑산도 DGPS 보정신호를 138Km 떨어진 당사도 DGPS 감시국에서 측정한 결과 $15.68\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} \sim 17.66\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내의 평균 $16.64\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 낮게 나타나 유효 전계강도 기준치 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 에 미치지 못함을 알 수 있다(<표 3-4> 및 <그림 3-11> 참조).

<표 3-4> 소흑산도 기준국 및 당사도 감시국의 전계강도 실측치
($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)

월 일	소청도 기준국	당사도 감시국	월 일	소청도 기준국	당사도 감시국	월 일	소청도 기준국	당사도 감시국
10.18	130.09	15.78	10.24	128.12	16.82	10.30	129.44	16.86
10.19	130.10	15.68	10.25	128.10	16.40	10.31	129.53	17.03
10.20	130.35	16.19	10.26	128.53	16.58	11.01	129.43	16.73
10.21	130.37	16.52	10.27	129.14	17.08	11.02	129.71	16.88
10.22	126.97	17.01	10.28	129.21	17.66	11.03	129.80	16.92
10.23	127.67	16.39	10.29	129.29	16.66	11.04	128.59	16.37
평 균							129.14	16.64

(자료출처 : 해양수산부, '06.10.18~11.4)



<그림 3-11> 소흑산도 기준국 및 당사도 감시국의 전계강도 일변화량

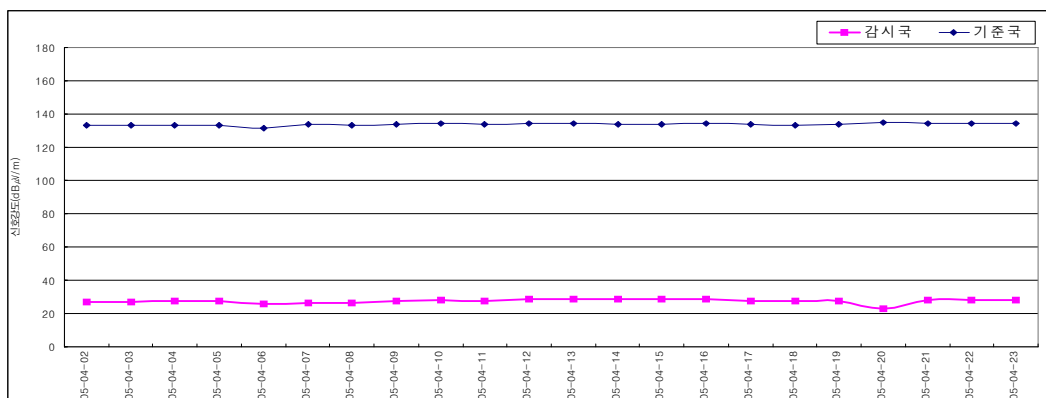
3.2.5 마라도 DGPS 보정신호 전계강도 특성

2005년 4월 2일부터 4월 23일까지 마라도 DGPS 기준국의 보정신호 일변화량을 살펴보면, $131.59\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} \sim 134.67\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 $3.08\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내의 안정된 변화량을 나타내고 있다. 마라도 DGPS 보정신호를 150Km 떨어진 가사도 DGPS 감시국에서 측정한 결과 $25.43\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} \sim 28.51\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내의 평균 $27.28\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 낮게 나타나 유효 전계강도 기준치 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 에 미치지 못함을 알 수 있다(<표 3-5> 및 <그림 3-12> 참조).

<표 3-5> 마라도 기준국 및 가사도 감시국의 전계강도 실측치
($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)

월 일	마라도 기준국	가사도 감시국	월 일	마라도 기준국	가사도 감시국	월 일	마라도 기준국	가사도 감시국
04.02	133.23	26.91	04.10	134.34	27.79	04.18	133.33	27.22
04.03	133.26	27.00	04.11	133.72	27.59	04.19	133.78	27.28
04.04	133.21	27.21	04.12	134.20	28.31	04.20	134.67	22.78
04.05	133.12	27.34	04.13	134.09	28.51	04.21	134.27	27.88
04.06	131.59	25.43	04.14	133.83	28.4	04.22	134.46	28.12
04.07	133.51	26.51	04.15	133.62	28.42	04.23	134.14	27.81
04.08	133.38	26.19	04.16	134.01	28.40		133.68	27.28
04.09	133.53	27.35	04.17	133.56	27.60			
평 균								

(자료출처 : 해양수산부, '05.4.2~4.23)



<그림 3-12> 마라도 기준국 및 가사도 감시국의 전계강도 일변화량

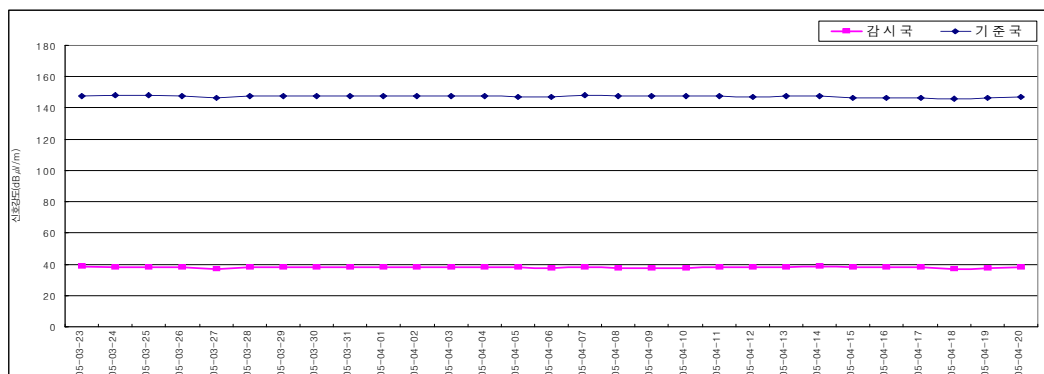
3.2.6 거문도 DGPS 보정신호 전계강도 특성

2005년 3월 23일부터 4월 19일까지 거문도 DGPS 기준국의 보정신호 일 변화량을 살펴보면, $145.81\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} \sim 148.07\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 $2.26\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내의 안정된 변화량을 나타내고 있다. 거문도 DGPS 보정신호를 157KHz 떨어진 서이말 DGPS 감시국에서 측정한 결과 $36.83\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} \sim 38.42\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내의 평균 $37.90\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 나타나 유효 전계강도 기준치 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 에 근접한 값을 나타내고 있다(<표 3-6> 및 <그림 3-13> 참조).

<표 3-6> 거문도 기준국 및 서이말 감시국의 전계강도 실측치
($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)

월 일	거문도 기준국	서이말 감시국	월 일	거문도 기준국	서이말 감시국	월 일	거문도 기준국	서이말 감시국
03.23	147.70	38.42	04.02	147.49	38.16	04.12	147.25	37.87
03.24	147.96	38.25	04.03	147.36	37.96	04.13	147.45	38.20
03.25	148.07	38.29	04.04	147.41	38.24	04.14	147.47	38.40
03.26	147.91	38.09	04.05	147.33	38.09	04.15	146.70	38.11
03.27	146.70	36.83	04.06	147.33	37.34	04.16	146.43	38.17
03.28	147.54	37.81	04.07	148.01	37.77	04.17	146.37	37.83
03.29	147.57	38.08	04.08	147.47	37.34	04.18	145.81	37.01
03.30	147.53	38.00	04.09	147.70	37.61	04.19	146.30	37.30
03.31	147.50	38.04	04.10	147.41	37.71	04.20	146.88	38.01
04.01	147.62	38.11	04.11	147.40	37.94	—		
평 균							147.30	37.90

(자료출처 : 해양수산부, '05.3.23 ~ 4.19)



<그림 3-13> 거문도 기준국 및 서이말 감시국의 전계강도 일변화량

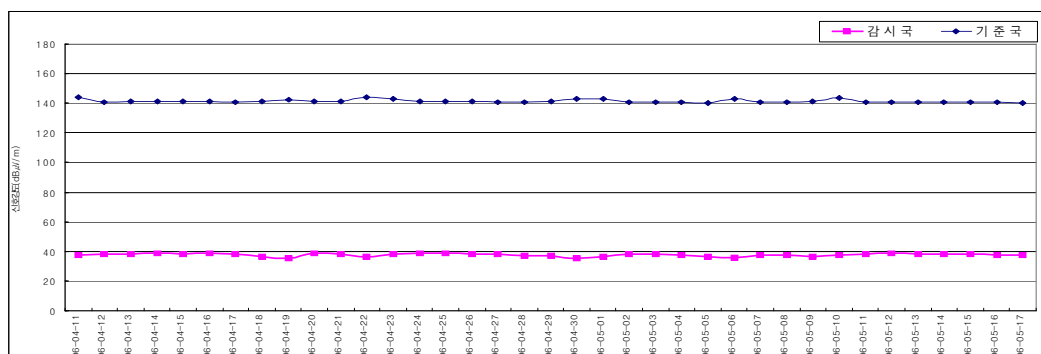
3.2.7 영도 DGPS 보정신호 전계강도 특성

2006년 4월 11일부터 5월 17일까지 영도 DGPS 기준국의 보정신호 일 변화량을 살펴보면, $140.34\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} \sim 144.30\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 $3.96\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내의 안정된 변화량을 나타내고 있다. 영도 DGPS 보정신호를 139Km 떨어진 소리도 DGPS 감시국에서 측정한 결과 $35.10\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} \sim 38.68\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내의 평균 $37.63\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 유효 전계강도 기준치 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 에 근접한 값을 나타내고 있다(<표 3-7> 및 <그림 3-14> 참조).

<표 3-7> 영도 기준국 및 소리도 감시국의 전계강도 실측치
($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)

월 일	영 도 기준국	소리도 감시국	월 일	영 도 기준국	소리도 감시국	월 일	영 도 기준국	소리도 감시국
04.11	144.30	37.55	04.24	141.07	38.66	05.07	140.66	37.59
04.12	140.96	38.02	04.25	141.06	38.54	05.08	140.43	37.48
04.13	141.00	38.14	04.26	141.00	38.39	05.09	141.28	36.35
04.14	141.23	38.68	04.27	140.80	38.14	05.10	143.27	37.48
04.15	141.06	38.39	04.28	140.62	37.26	05.11	140.89	38.26
04.16	141.09	38.61	04.29	141.42	37.20	05.12	140.94	38.49
04.17	140.93	38.37	04.30	142.73	35.10	05.13	140.86	38.15
04.18	141.15	36.26	05.01	143.01	36.29	05.14	140.80	38.27
04.19	142.26	35.23	05.02	140.84	38.32	05.15	140.78	38.20
04.20	141.21	38.65	05.03	140.83	38.31	05.16	140.48	37.66
04.21	141.04	38.09	05.04	140.61	37.57	05.17	140.34	37.68
04.22	143.99	36.60	05.05	140.37	36.27	-	141.39	37.63
04.23	143.05	37.91	05.06	143.00	36.13	-		
평 균								

(자료출처 : 해양수산부, '06.6.1~7.8)



<그림 3-14> 영도 기준국 및 소리도 감시국의 전계강도 일변화량

3.2.8 호미곶 DGPS 보정신호 전계강도 특성

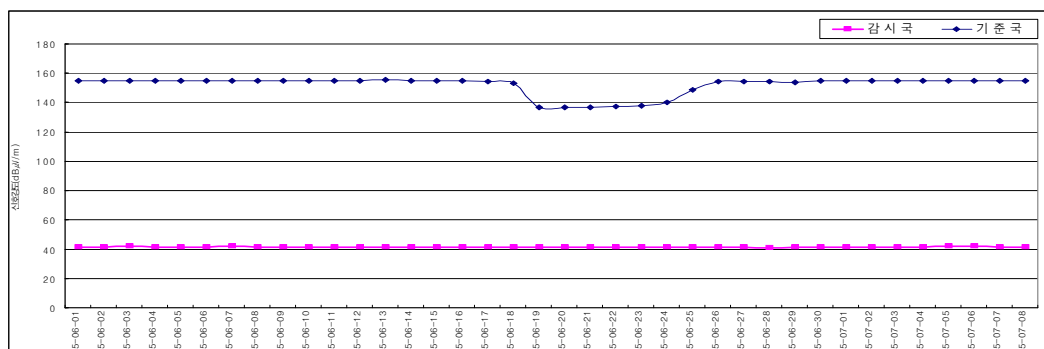
2005년6월1일부터 7월8일까지 호미곶 DGPS 기준국의 보정신호 일 변화량을 살펴보면, 136.89dB μ N/m ~ 155.37dB μ N/m로 18.48dB μ N/m의 높은 변화량을 나타내고 있다. 호미곶 DGPS 보정신호를 109Km 떨어진 죽변 DGPS 감시국에서 측정한 결과 41.04dB μ N/m ~ 41.86dB μ N/m내의 평균 41.53dB μ N/m로 나타나 유효 전계강도 기준치 40dB μ N/m보다 높게 나타나고 있다(<표 3-8> 및 <그림 3-15> 참조).

<표 3-8> 호미곶 기준국 및 죽변 감시국의 전계강도 실측치

(dB μ N/m)

월 일	호미곶 기준국	죽변B 감시국	월 일	호미곶 기준국	죽변B 감시국	월 일	호미곶 기준국	죽변B 감시국
06.01	155.17	41.69	06.14	155.21	41.58	06.27	154.48	41.53
06.02	154.98	41.57	06.15	155.07	41.47	06.28	154.45	41.04
06.03	155.13	41.82	06.16	154.94	41.46	06.29	153.71	41.51
06.04	154.90	41.37	06.17	154.44	41.36	06.30	155.10	41.71
06.05	155.17	41.65	06.18	153.55	41.35	07.01	154.94	41.60
06.06	155.17	41.71	06.19	136.72	41.29	07.02	155.10	41.67
06.07	155.11	41.80	06.20	136.89	41.41	07.03	154.95	41.66
06.08	155.17	41.71	06.21	137.00	41.55	07.04	154.93	41.61
06.09	155.12	41.59	06.22	137.17	41.43	07.05	155.29	41.85
06.10	154.87	41.37	06.23	138.09	41.39	07.06	155.28	41.86
06.11	154.92	41.42	06.24	140.31	41.40	07.07	154.94	41.37
06.12	155.23	41.61	06.25	149.02	41.42	07.08	154.75	41.19
06.13	155.37	41.65	06.26	154.67	41.34	-	-	-
평 균							152.03	41.53

(자료출처 : 해양수산부, '05.6.1 ~ 7.8)



<그림 3-15> 호미곶 기준국 및 죽변 감시국의 전계강도 일변화량

3.2.9 울릉도 DGPS 보정신호 전계강도 특성

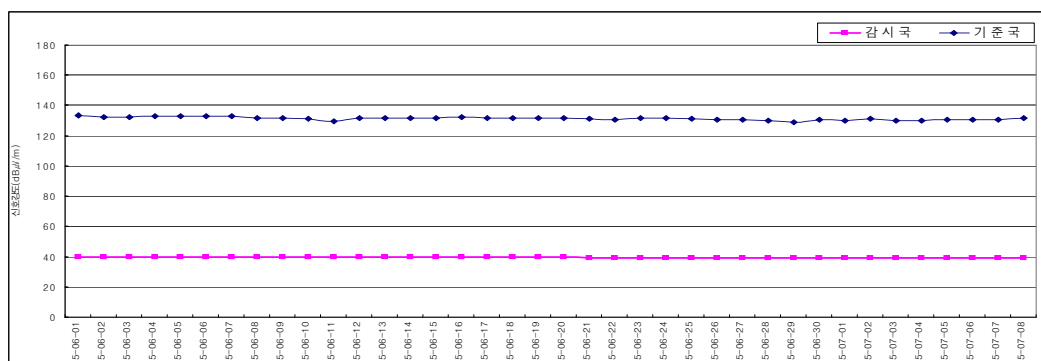
2005년6월1일부터 7월8일까지 울릉도 DGPS 기준국의 보정신호 일 변화량을 살펴보면, $128.94\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} \sim 133.49\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 $4.55\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내의 안정된 변화량을 나타내고 있다. 울릉도 DGPS 보정신호를 131Km 떨어진 죽변 DGPS 감시국에서 측정한 결과 $38.92\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} \sim 39.93\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내의 평균 $39.43\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 나타나 유효 전계강도 기준치 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 에 근접한 값을 나타내고 있다(<표 3-9> 및 <그림 3-16> 참조).

<표 3-9> 울릉도 기준국 및 죽변 감시국의 전계강도 실측치

($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)

월 일	울릉도 기준국	죽변A 감시국	월 일	울릉도 기준국	죽변A 감시국	월 일	울릉도 기준국	죽변A 감시국
06.01	133.49	39.73	06.14	131.72	39.68	06.27	130.38	39.14
06.02	132.34	39.68	06.15	131.88	39.82	06.28	130.25	39.13
06.03	132.45	39.85	06.16	132.08	39.76	06.29	128.94	39.17
06.04	133.14	39.93	06.17	131.58	39.79	06.30	130.51	39.16
06.05	133.00	39.91	06.18	131.67	39.62	07.01	130.02	39.13
06.06	132.59	39.78	06.19	131.50	39.53	07.02	131.22	39.08
06.07	132.64	39.85	06.20	131.62	39.49	07.03	130.01	39.01
06.08	132.00	39.71	06.21	131.34	39.31	07.04	130.23	39.04
06.09	131.69	39.65	06.22	130.82	39.03	07.05	130.56	39.10
06.10	131.05	39.73	06.23	131.54	39.02	07.06	130.37	39.12
06.11	129.70	39.82	06.24	131.53	38.99	07.07	130.69	39.20
06.12	131.56	39.67	06.25	130.94	38.96	07.08	131.72	39.07
06.13	131.92	39.63	06.26	130.37	38.92	-		
평 균							131.34	39.43

(자료출처 : 해양수산부, '05.6.1~7.8)



<그림 3-16> 울릉도 기준국 및 죽변 감시국의 전계강도 일변화량

3.2.10 주문진 DGPS 보정신호 전계강도 특성

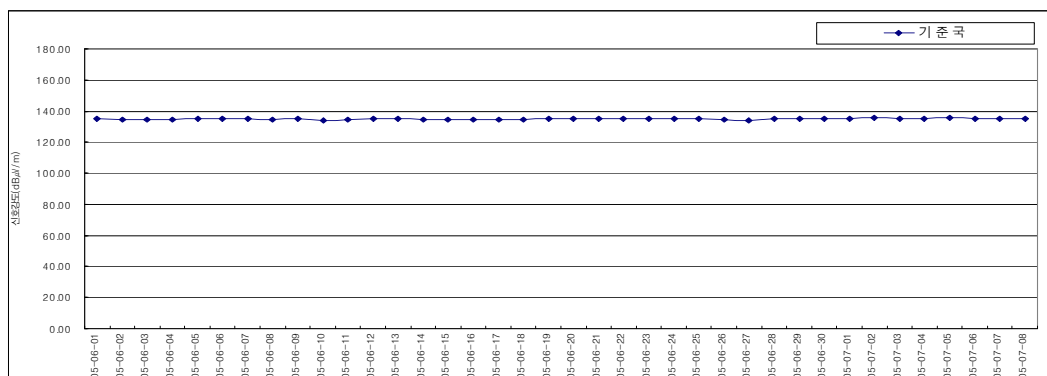
2005년 6월 1일부터 7월 8일까지 주문진 DGPS 기준국의 보정신호 일변화량을 살펴보면, $134.08\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} \sim 135.71\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 $1.62\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내의 안정된 변화량을 나타내고 있다. 주문진 DGPS 보정신호에 대한 감시국에 대해서는 2006년도 12월 현재 설치되지 않아 분석하지 않았다(<표 3-10> 및 <그림 3-17> 참조)..

<표 3-10> 주문진 기준국의 전계강도 실측치

($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)

월 일	주문진 기준국	월 일	주문진 기준국	월 일	주문진 기준국
06.01	135.15	06.14	134.77	06.27	134.08
06.02	134.76	06.15	134.77	06.28	135.38
06.03	134.58	06.16	134.81	06.29	135.29
06.04	134.69	06.17	134.80	06.30	135.16
06.05	135.13	06.18	134.69	07.01	135.25
06.06	135.02	06.19	134.99	07.02	135.52
06.07	134.87	06.20	135.04	07.03	134.98
06.08	134.37	06.21	135.04	07.04	135.28
06.09	134.98	06.22	135.04	07.05	135.71
06.10	134.21	06.23	135.02	07.06	135.12
06.11	134.69	06.24	134.95	07.07	134.90
06.12	135.10	06.25	135.01	07.08	135.29
06.13	134.92	06.26	134.74	-	134.95
평 균					

(자료출처 : 해양수산부, '05.6.1~7.8)



<그림 3-17> 주문진 기준국의 전계강도 일변화량

3.2.11 저진 DGPS 보정신호 전계강도 특성

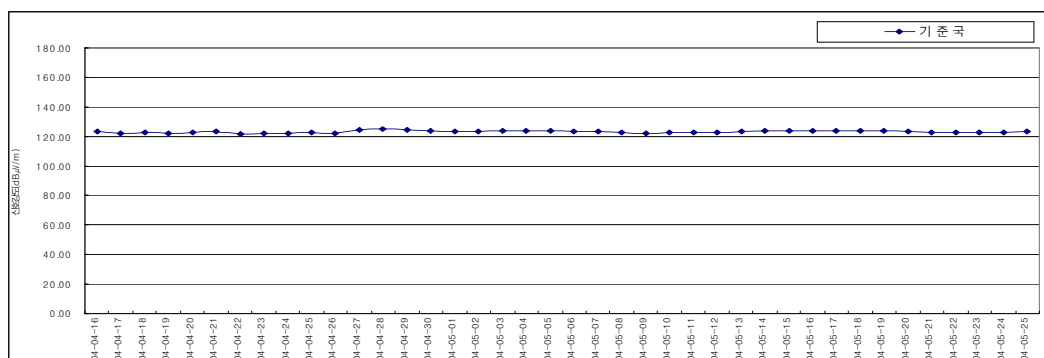
2004년 4월 16일부터 5월 25일까지 주문진 DGPS 기준국의 보정신호 일 변화량을 살펴보면, $121.81\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} \sim 125.08\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 $4.27\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내의 안정된 변화량을 나타내고 있다. 저진 DGPS 보정신호에 대한 감시국에 대해서는 2006년도 12월 현재 설치되지 않아 분석하지 않았다(<표 3-11> 및 <그림 3-18> 참조).

<표 3-11> 저진 기준국의 전계강도 실측치

($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)

월 일	저진 기준국	월 일	저진 기준국	월 일	저진 기준국
04.16	123.17	04.30	123.72	05.14	124.04
04.17	122.18	05.01	123.46	05.15	123.73
04.18	122.40	05.02	123.25	05.16	123.70
04.19	121.89	05.03	123.57	05.17	123.54
04.20	122.69	05.04	123.90	05.18	123.57
04.21	123.34	05.05	123.59	05.19	123.65
04.22	121.81	05.06	123.22	05.20	123.47
04.23	121.84	05.07	123.08	05.21	122.56
04.24	122.05	05.08	122.93	05.22	122.79
04.25	122.87	05.09	122.22	05.23	122.81
04.26	122.20	05.10	122.57	05.24	122.58
04.27	124.60	05.11	122.89	05.25	123.09
04.28	125.08	05.12	122.93	-	123.12
04.29	124.40	05.13	123.43	-	
평 균					

(자료출처 : 해양수산부, '04.4.16~5.25)



<그림 3-18> 저진 기준국의 전계강도 일변화량

3.3 해양용 DGPS 보정신호 전계강도 검토 분석

소청도 DGPS기준국의 수신전계강도(FLD)는 평균 $133.04\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 효율이 비교적 낮게 나타났다. 소청도 기준국에서 167.8km 지점에 위치한 옹도 감시국에서 수신한 전계강도의 평균값도 $24.63\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 미 해안경비대의 유효범위 기준치 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 보다 낮게 나타 나고 있다. 이는 소청도 기준국의 지리적 여건과 송신시스템의 중파안테나 효율 저하로 분석된다.

팔미도 DGPS 기준국의 수신전계강도(FLD)는 평균 $160.07\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 양호하게 나타나고 있다. 팔미도 기준국으로부터 166km 지점에 위치한 말도 감시국에서 수신한 전계강도 평균값은 $36.79\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 미 해안경비대 유효범위 기준치 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 에 근접하게 나타나고 있다.

어청도 DGPS 기준국의 수신전계강도(FLD)는 평균 $146.57\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 효율이 비교적 낮게 나타났다. 어청도 기준국으로 부터 171.1km 지점에 위치한 흥도 감시국에서는 수신한 전계강도 평균값도 $29.29\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 낮게 나타났다. 이는 어청도 기준국 설치위치상 산 능선에 안테나가 설치되어 흥도방향으로의 DGPS 전파발사가 양호하지 않은 것으로 분석되었다.

소흑산도 DGPS 기준국의 수신전계강도(FLD)는 평균 $129.14\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 으로 아주 낮게 나타났다. 소청도 기준국으로부터 139km 지점에 위치한 당사도 감시국에서 수신한 전계강도 평균값 역시 $16.64\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 아주 낮게 나타났다. 이러한 현상은 발콤폴안테나의 특성상 DGPS 보정신호전파의 효율성이 낮은 것으로 분석되었다.

마라도 DGPS 기준국의 수신전계강도(FLD)는 평균 $133.68\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 효율이 비교적 낮게 나타나고 있다. 마라도 기준국으로부터 150.4km 지점에 위치한 가사도 감시국에서 수신한 전계강도 평균값도 $27.28\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 낮게 나타났다 이러한 현상은 발콤폴안테나의 특성상 DGPS 전파전파의 효율성이 낮은 것으로 분석되었다.

거문도 DGPS 기준국의 수신전계강도(FLD)는 평균 $147.30\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 나타났다. 거문도 기준국으로부터 157.1km 지점에 위치한 서이말 감시국에서 수신한 전계강도 평균값도 $37.90\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 으로 양호하게 나타났다.

영도 DGPS 기준국의 수신전계강도(FLD)는 평균 $141.39\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 비교적 낮게 나타났다. 그러나 영도 기준국으로부터 139km 지점에 위치한 소리도 감시국에서 수신한 전계강도 평균값은 $37.63\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 으로 양호하게 나타났다.

호미곶 DGPS 기준국의 수신전계강도(FLD)는 평균 $150.03\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 으로 양호하게 나타났다. 호미곶 기준국으로부터 109.8km 지점에 위치한 죽변 감시국에서 수신한 전계강도의 평균값도 $41.53\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 높은 효율을 나타내고 있다.

울릉도 DGPS 기준국의 수신전계강도(FLD)는 평균 $131.34\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 비교적 낮게 나타났다. 울릉도 기준국으로부터 131.5km 지점에 위치한 죽변 감시국에서 수신한 전계강도 평균값은 $39.43\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 양호하게 나타났다.

주문진 DGPS 기준국의 수신전계강도(FLD)는 평균 $134.95\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 비교적 낮게 나타났으며, 주문진 기준국에 대한 감시국이 없어 파악할 수 없으나 조속히 감시국을 설치하여 무결성 보장을 하여야 한다.

저진 DGPS 기준국의 수신전계강도(FLD)는 평균 $123.12\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 아주 낮게 나타났으며, 저진 기준국 역시 감시국이 없어 파악할 수 없으나 조속히 감시국을 설치하여 무결성 보장을 하여야 한다.

이상과 같이 해양용 DGPS 기준국 이용범위 100NM에서 전계강도는 미국 해안경비대가 권고하는 기준치 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이상을 유지하여야 하나, 감시국이 항로표지관리소 등 산악지역에 설치되어 다소 낮은 전계강도를 나타낸다. 그러나 도전율이 양호한 해양에서는 100NM 범위에서 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이상을 유지하는 것으로 조사 및 측정되었다.

제4장 DGPS 보정신호 전파 측정 및 분석

4.1 해양용 DGPS 보정신호 전파 측정

4.1.1 조사개요

1. 해양용 DGPS 보정신호 전파실측 조사

본 연구에 활용된 실측자료는 2004년 4월부터 2006년 5월까지 해양수산부 향로표지 측정선(한빛호, 500톤급)이 우리나라 연안에 설치·운영중인 해양용 DGPS 보정신호의 전파전달 범위에 대한 조사 결과치에 근거하였다(<그림 4-1> 참조).



<그림 4-1> 향로표지측정선 a) 한빛호, b) 전파측정 처리장비

2. 해양용 DGPS 기준국별 측정 기간

- 서해해역 : 소청도 측정기간: 2004. 10. 13 ~ 11. 5 (24일간)
팔미도 측정기간: 2005. 11. 15 ~ 12. 25 (41일간)
어청도 측정기간: 2004. 10. 13 ~ 11. 5 (24일간)
소흑산도 측정기간: 2005. 3. 23 ~ 4. 23 (32일간)

- 남해해역 : 마라도 측정기간: 2006. 4. 11 ~ 5. 17 (37일간)
 거문도 측정기간: 2005. 3. 23 ~ 4. 23 (32일간)
 영 도 측정기간: 2006. 4. 11 ~ 5. 17 (37일간)
- 동해해역 : 호미곶 측정기간: 2005. 6. 1 ~ 7. 8 (38일간)
 주문진 측정기간: 2005. 6. 1 ~ 7. 8 (38일간)
 울릉도 측정기간: 2005. 6. 1 ~ 7. 8 (38일간)
 저 진 측정기간: 2004. 4. 16 ~ 5. 25 (40일간)

4.1.2 측정시스템 개요

1. 시스템 구성도

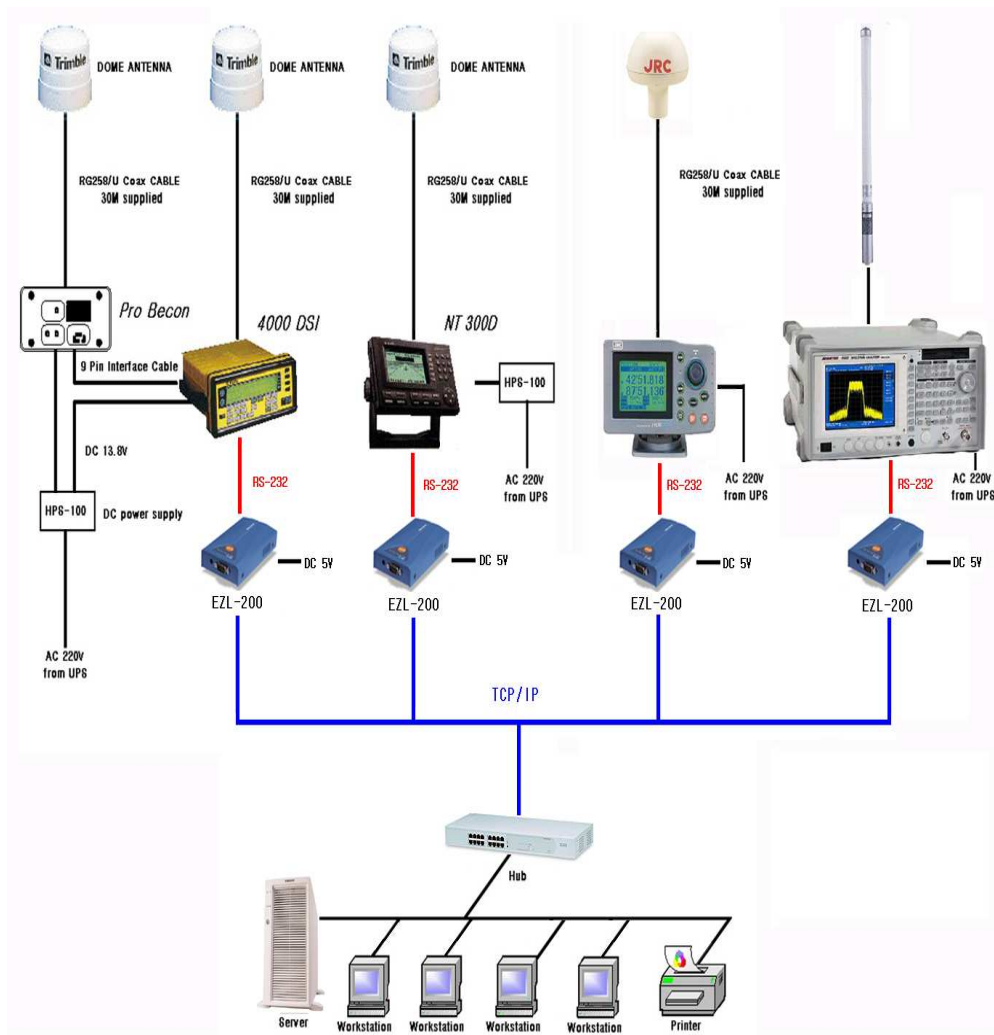
DGPS 보정신호를 전용수신기(Trimble NT300D, Trimble 4000 DSI) 및 계측 장비로 수신하여 데이터 변환장치에 출력하고, 데이터 변환장치에서 데이터를 편집 및 변환하여 주기적으로 데이터 처리장치에 전송하도록 구성하였다. 또한, 측정 장비는 백업시스템을 갖추어 지속적인 측정업무가 가능하도록 설계하였다(<그림 4-2>참조).



<그림 4-2> DGPS 보정신호 측정시스템 구성도

2. 측정 장비 구성도

DGPS 보정신호 측정시스템은 선내 위치 및 시각 그리고 DGPS 기준국용 고정도 수신기(4000DSI) 3대와 측정용 수신기(NT300D) 3대를 설치하여 GPS 및 DGPS 보정신호를 수신하도록 구성하였다. 여기서 수신된 측정데이터를 데이터 변환장치(EZL-200A)를 거쳐 데이터 저장장치에 저장토록 구성하였다(<그림 4-3> 참조).



<그림 4-3> 측정장비 구성도

3. 측정장비 사양

측정에 활용된 장비는 미국 Trimble사의 NT-300D와 4000DSI를 이용하여 아래와 같이 측정하였다.

- Trimble NT-300D : 저진(292kHz), 주문진(295kHz), 울릉도(319kHz), 마라도(290kHz), 거문도(287kHz), 소흑산도(298kHz), 어청도(295kHz), 소청도(323kHz), 팔미도(313kHz)
- Trimble 4000DSI : 호미곶(310kHz), 영도(300kHz)

<표 4-1> DGPS 수신기 사양

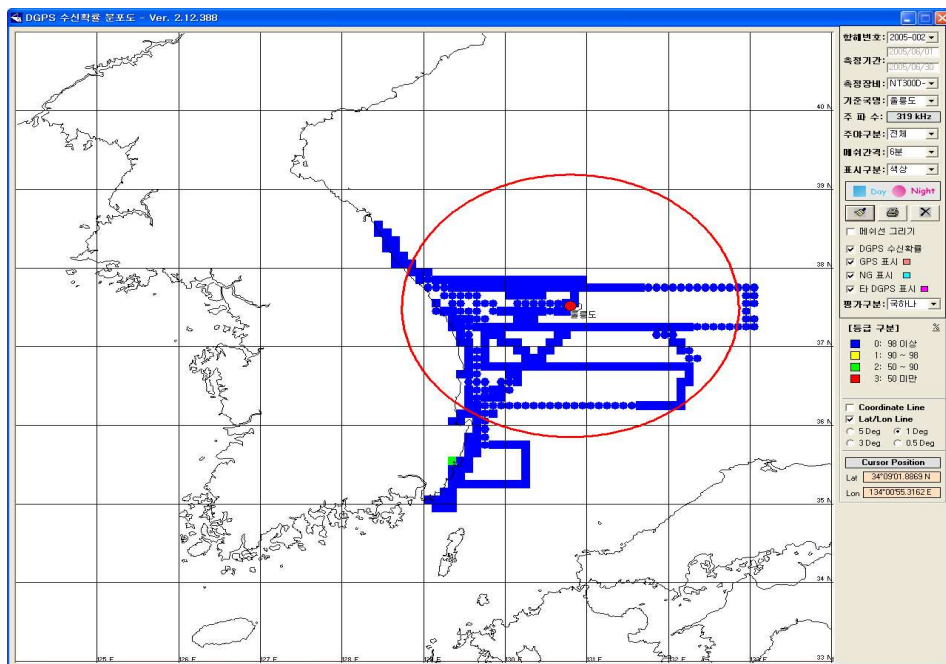
장 비 명	사 양
DGPS수신기 (Trimble NT300D)	<ul style="list-style-type: none"> - GPS Receiver : 12 Channel parallel - Position Update Rate Up to 5 times per second on the serial with a latency of less than 2/10 of a second and 1 time per second on the display - GPS Acquisition Time : < 30 Second warm start - Differential GPS RTCM SC-104, Version 2.1, Record types 1, 2, 3, 7, 9, 16 - Alarms : Anchor, Watch, Cross track error, Destination, Waypoint Hazard, Time, GPS Lock, DGPS Lock - Output Protocols NMEA 0183, RTCM, TAIP, TSIP, Remote station - Input Protocols : NMEA 0183, RTCM, TAIP, TSIP - LCD Display : 0.36mm dot pitch, 320×240 pixel, 5.8 in diagonal - Serial Ports : 2 independent RS-422 ports, 7 pin CONXALL con'
DGPS수신기 (Trimble 4000 DSI)	<ul style="list-style-type: none"> - 추 적 : 9 C/A 채널 , 12-채널 선택과 12 L1 C/A 채널 - 정확도 : 기준국의 보정치 사용시 1미터 RMS 또는 그이상 - 호환성 : RTCM SC-104 포맷의 버전-1.0 또는 2.x - 신호처리 : Multibit Super-trak, Maxwell archi-tecture with EVEREST Technology - 구동시간 : 전원 ON후 2분 이내 - 데이터전송속도 : 50~57.6K BAUD - RTCM MSG Output : Type 1, 2, 3, 6, 9, 16

4. DGPS 보정신호 측정 방법

측정선 “한빛호”가 우리나라 연안 및 근해구역을 항해하면서 우리나라 해양용 DGPS 보정신호를 유효범위내·외 해역에서의 측정하고자 하는 DGPS기준국 고유주파수에 설정하고 1초마다 갱신되는 수신 상황을 3분에 1회 기준 선위, 측위 정도, 전파의 수신 상황, 시각, 선수방향 및 DGPS 기준국명과 함께 데이터베이스에 저장하는 방법으로 측정하였다.

5. DGPS 보정신호 분석방법

한빛호를 이용하여 실측된 해양용 DGPS 기준국의 전계강도 자료에 대한 분석 결과 출력 프로그램은 서퍼 버전 5.03 윈도즈용(미국, Golden Software 사)에서 분석 프로그램 전용 Microsoft SQL Server로 저장된 데이터값을 분석하고, 그 결과를 그래픽 매핑 툴을 이용하여 전계곡선도(Counter map)를 작성하여 분석 평가 하였다(<그림 4-4> 참조).



<그림 4-4> 울릉도기준국 수신확률 분석화면

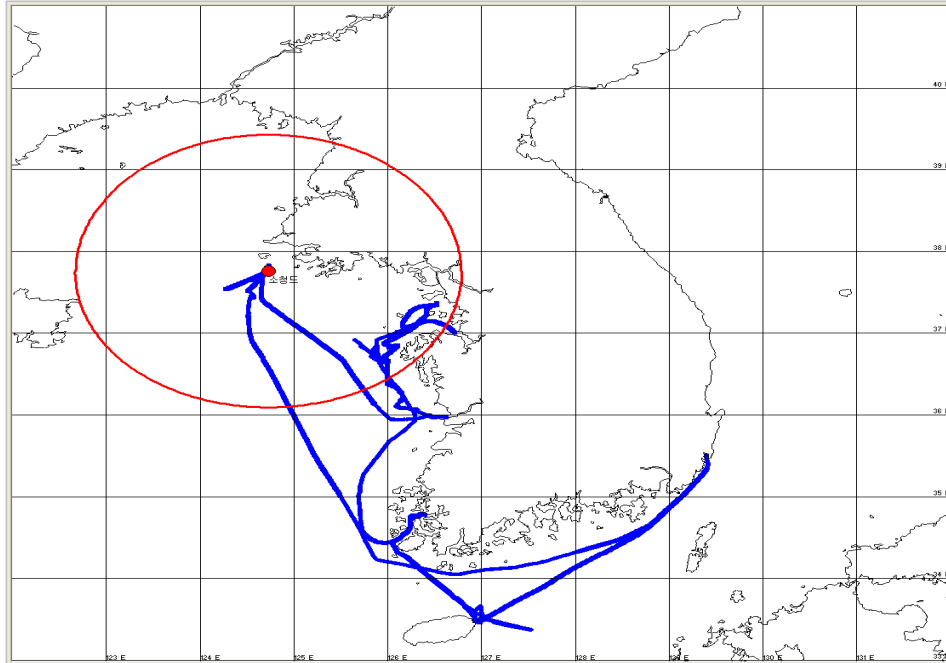
4.2 해양용 DGPS 보정신호 전계강도 시뮬레이션 및 측정치 검증

4.2.1 소청도 DGPS 기준국(323kHz)

1. 측정선 항적

소청도 DGPS 기준국 전파측정을 위하여 측정선 “한빛호”는 2004년 10월

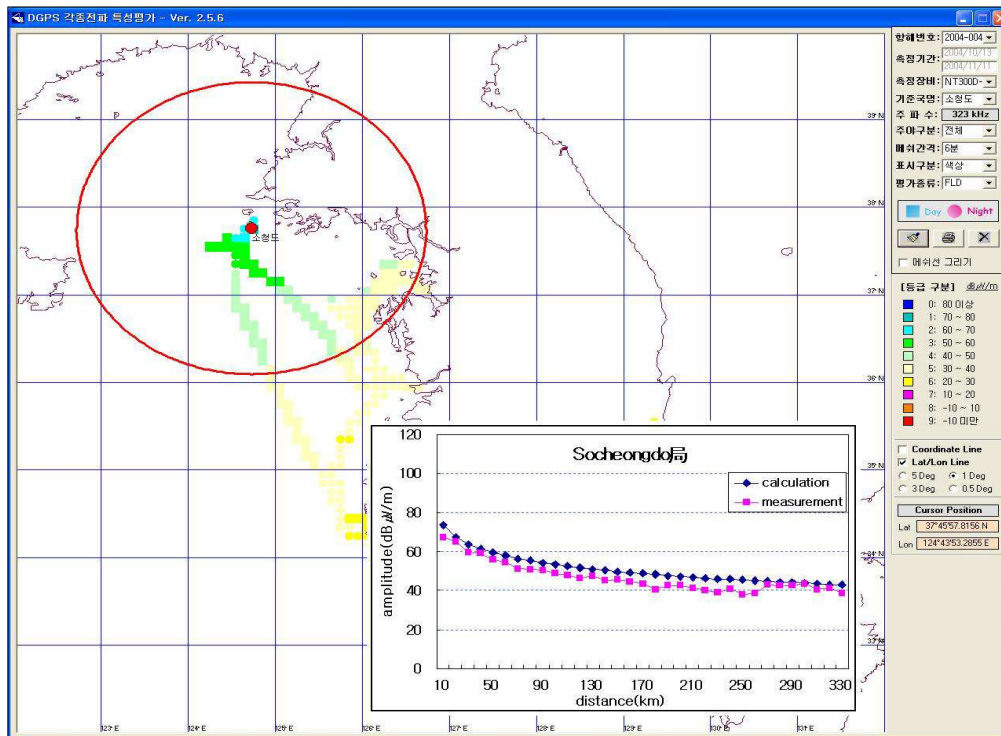
13일부터 11월 5일까지 24일간 소청도 DGPS 보정정보 이용범위 내·외에서 <그림 4-5>와 같은 항적으로 측정을 실시하였다.



<그림 4-5> 측정선 “한빛호” 항적도

2. 전계강도 분포도

소청도 DGPS 기준국 신호의 실측치를 살펴보면, 해양용 DGPS에 대한 U.S. Coast Guard COMDTINST M 16577.1 규정에 의한 최저수신 강도레벨($40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)을 기준으로 한 서비스 영역(185km)과 거의 일치하고 있다. 특히 제4장의 중파대역 전파특성 모델에 의한 계산치와 측정치가 오차범위($10\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)내에서 일치함을 볼 수 있다(<그림 4-6> 및 <표4-2>참조).



<그림 4-6> 소청도 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도

<표 4-2> 소청도 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치 비교

【단위:(dB μ V/m)】

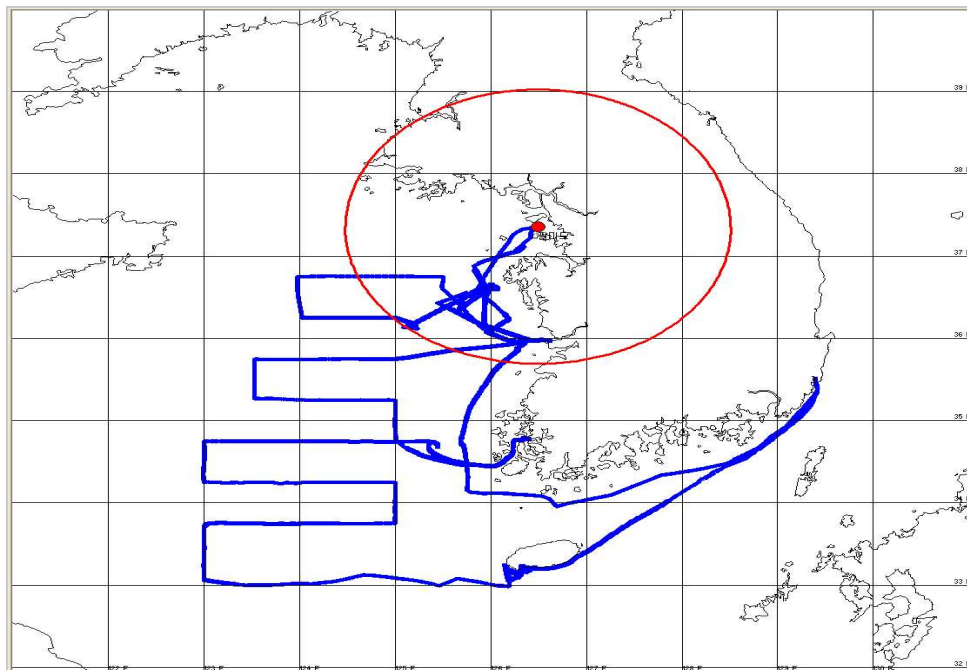
거리(km)	계산치	실측치*	거리(km)	계산치	실측치*
1	94.8	85.5	100	53.3	46.0
10	73.7	66.0	110	52.5	45.5
20	67.5	60.5	120	51.8	43.5
30	63.8	57.0	130	51.1	43.5
40	61.3	54.5	140	50.4	38.5
50	59.3	52.0	150	49.8	39.5
60	57.7	50.5	160	49.3	38.5
70	56.5	51.5	170	48.8	40.5
80	56.5	51.5	180	48.3	40.5
90	55.3	49.5	190	47.8	35.0
100	54.3	48.0			

*자료출처 : 해양수산부

4.2.2 팔미도 DGPS 기준국(313kHz)

1. 측정선 항적

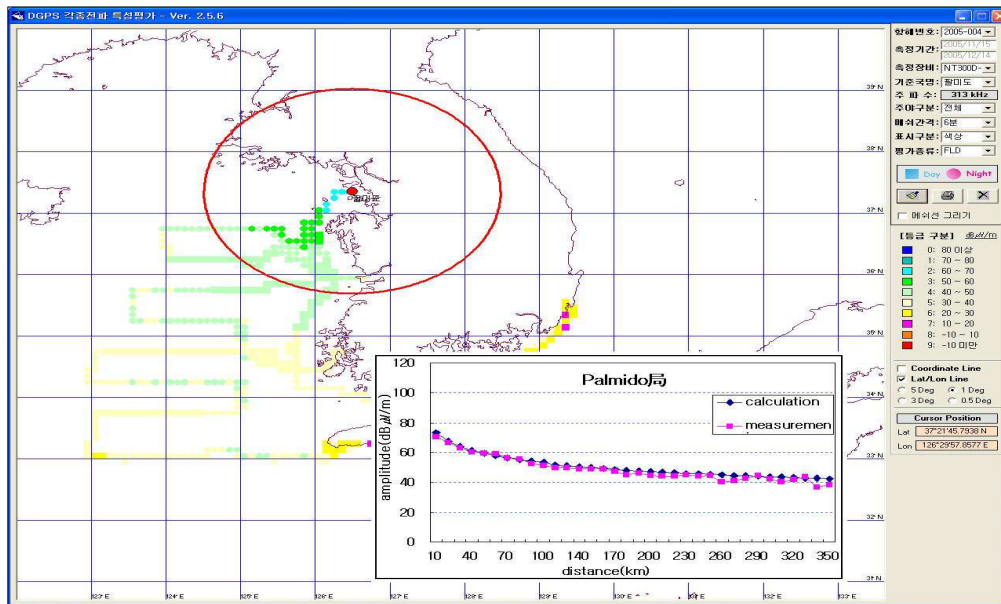
팔미도 DGPS 기준국 전파측정을 위하여 측정선 “한빛호”는 2006년 10월 18일부터 11월4일까지 18일간 팔미도 DGPS 보정정보 이용범위 내·외에서 <그림 4-7>와 같은 항적으로 측정을 실시하였다.



<그림 4-7> 측정선 “한빛호” 항적도

2. 전계강도 분포도

팔미도 DGPS 기준국 신호의 실측치를 살펴보면, U.S. Coast Guard 규정에 의한 최저수신강도레벨($40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)을 기준으로 한 서비스 영역을 초과하여 300km까지 영향을 미치고 있다. 특히, 중파대역 전파특성 모델에 의한 계산치와 측정치가 $2\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내에서 아주 일치함을 볼 수 있다(<그림 4-8> 및 <표4-3>참조).



<그림 4-8> 팔미도 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도

<표 4-3> 팔미도 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치 비교

【단위:(dBμV/m)】

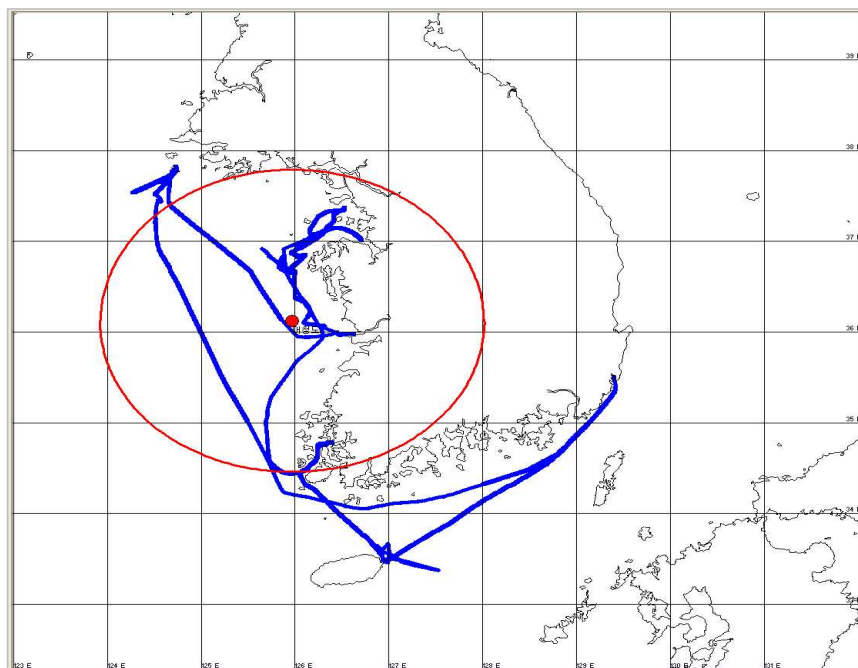
거리(km)	계산치	실측치*	거리(km)	계산치	실측치*
10	73.0	70.5	190	47.8	46.5
20	67.5	66.5	200	47.3	44.5
30	63.9	63.0	210	46.9	44.0
40	61.4	60.5	220	46.5	44.0
50	59.4	59.5	230	46.1	45.0
60	57.8	59.0	240	45.7	44.0
70	56.4	56.5	250	45.4	44.5
80	55.3	55.5	260	45.0	40.0
90	54.3	52.5	270	44.7	41.0
100	53.4	51.0	280	44.4	43.0
120	51.8	50.0	290	44.1	44.5
130	51.1	50.0	300	43.8	42.5
140	50.4	49.0	310	43.5	40.0
150	49.8	49.0	320	43.2	42.0
160	49.3	49.0	330	43.0	43.5
170	48.7	47.0	340	42.7	36.5
180	48.3	45.0	350	42.5	38.5

*자료출처 : 해양수산부

4.2.3 어청도 DGPS 기준국(295kHz)

1. 측정선 항적

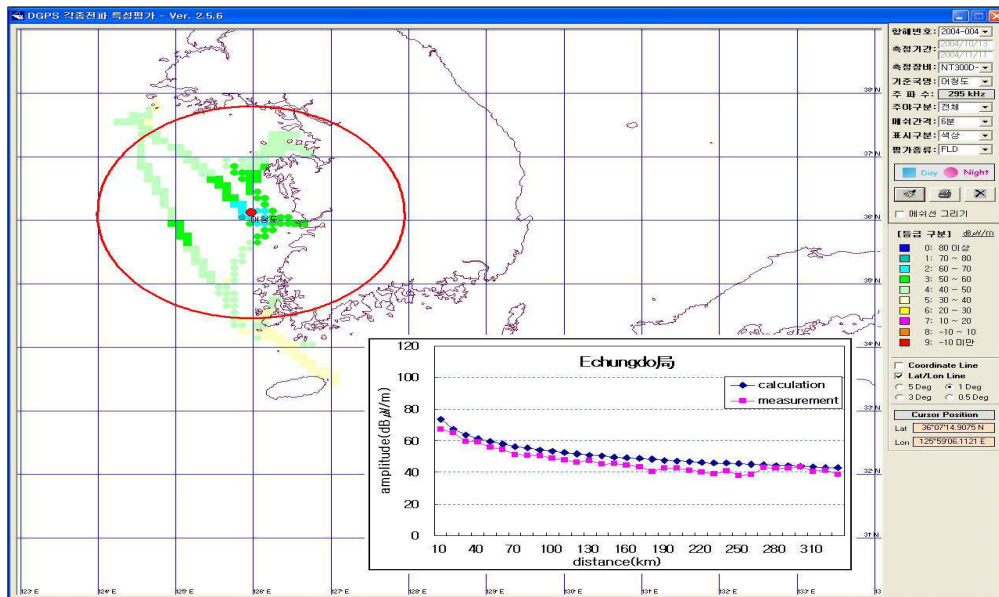
어청도 DGPS 기준국 전파측정을 위하여 측정선 “한빛호”는 2004년 10월 13일부터 11월 5일까지 24일간 어청도 DGPS 보정정보 이용범위 내·외에서 <그림 4-9>와 같은 항적으로 측정을 실시하였다.



<그림 4-9> 측정선 “한빛호” 항적도

2. 전계강도 분포도

어청도 DGPS 기준국 신호의 실측치를 살펴보면, U.S. Coast Guard 규정에 의한 최저수신강도레벨($40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)을 기준으로 한 서비스 영역(200km)과 거의 일치하고있다. 특히, 중파대역 전파특성 모델에 의한 계산치와 측정치가 $5\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내에서 아주 일치함을 볼 수 있다(<그림 4-10> 및 <표4-4>참조).



<그림 4-10> 어청도 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도

<표 4-4> 어청도 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치 비교

【단위:(dBμV/m)】

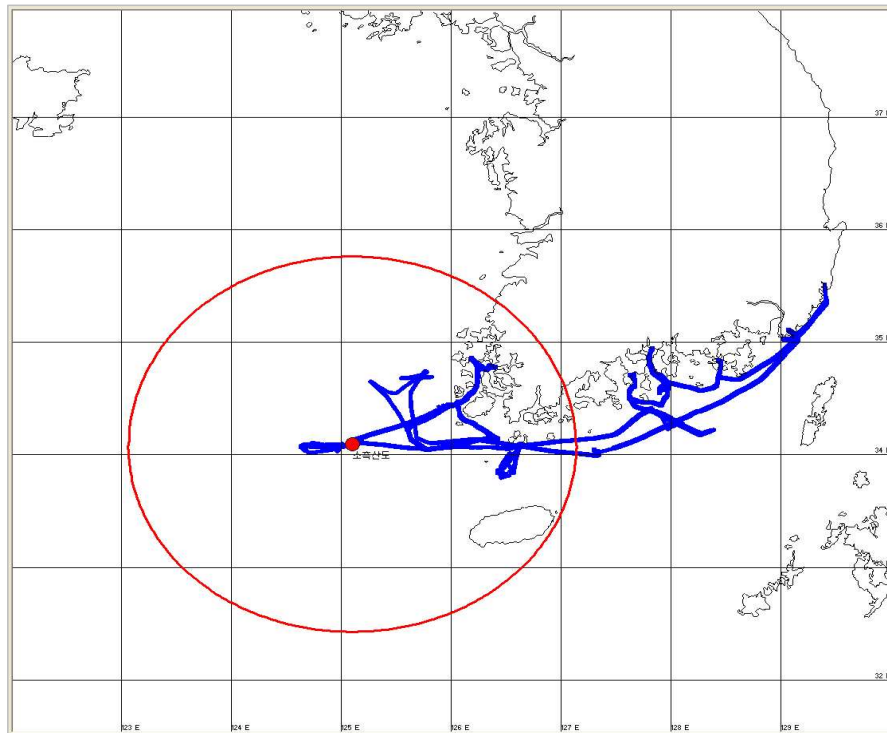
거리(km)	계산치	실측치*	거리(km)	계산치	실측치*
10	73.6	67.5	180	48.2	40.5
20	67.4	65.0	190	47.8	42.5
30	63.9	59.5	200	47.3	42.5
40	61.4	59.0	210	46.9	41.5
50	59.4	56.0	220	46.5	40.0
60	57.8	54.5	230	46.1	39.0
70	56.5	51.5	240	45.7	41.0
80	55.3	51.0	250	45.4	38.0
90	54.3	50.5	260	45.0	38.5
100	53.4	49.0	270	44.7	43.0
110	52.5	48.0	280	44.4	42.5
120	51.8	46.5	290	44.1	42.5
130	51.1	47.5	300	43.8	43.5
140	50.4	45.0	310	43.5	40.5
150	49.8	45.5	320	43.2	41.5
160	49.3	44.5	330	43.0	38.5
170	48.7	43.5			

*자료출처 : 해양수산부

4.2.4 소흑산도 DGPS 기준국(298kHz)

1. 측정선 항적

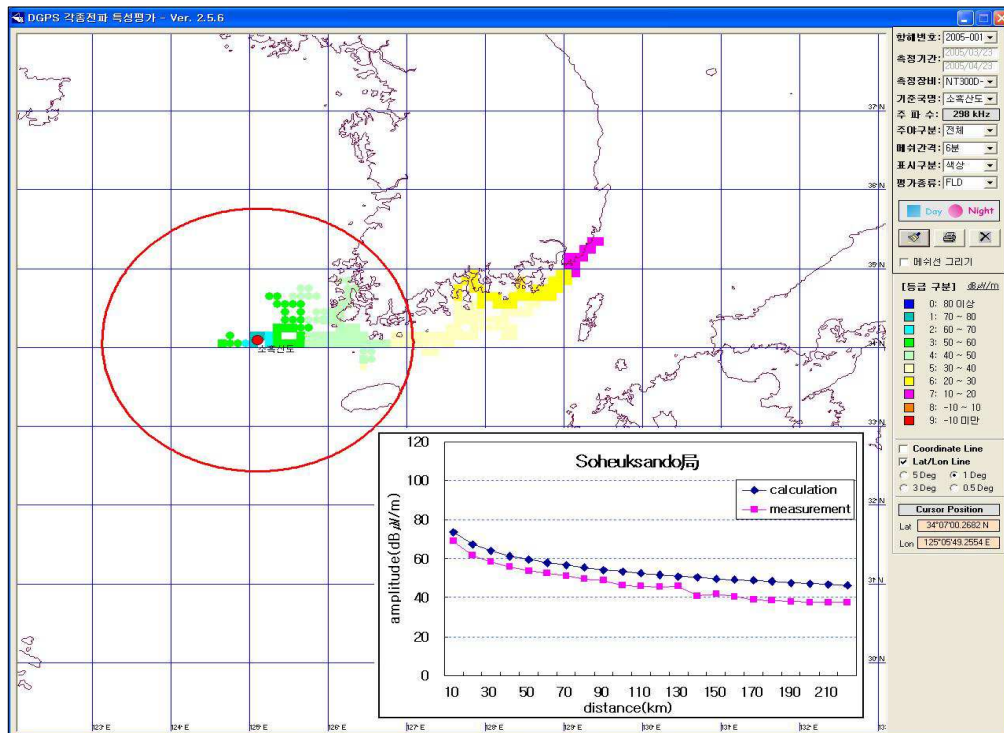
소흑산도 DGPS 기준국 전파측정을 위하여 측정선 “한빛호”는 2005년 3월 23일부터 4월 23일까지 32일간 소흑산도 DGPS 보정정보 이용범위 내·외에서 <그림 4-11>과 같은 항적으로 측정을 실시하였다.



<그림 4-11> 측정선 “한빛호” 항적도

2. 전계강도 분포도

소흑산도 DGPS 기준국 신호의 실측치를 살펴보면, U.S. Coast Guard 규정에 의한 최저수신강도레벨($40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)을 기준으로 한 서비스 영역(200km)과 거의 일치하고있다. 특히, 중파대역 전파특성 모델에 의한 계산치와 측정치가 $5\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내에서 아주 일치함을 볼 수 있다(<그림 4-12>, <표4-5>참조)



<그림 4-12> 소흑산도 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도

<표 4-5> 소흑산도 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치 비교

【단위:(dBμV/m)】

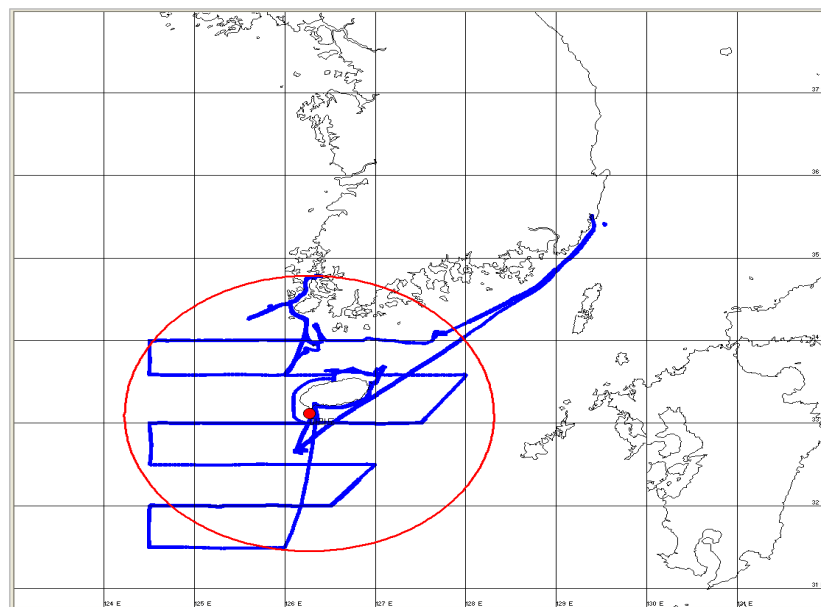
거리(km)	계산치	실측치*	거리(km)	계산치	실측치*
10	73.8	69.0	120	51.8	45.5
20	67.5	61.5	130	51.1	46.0
30	63.9	58.5	140	50.4	41.0
40	61.4	56.0	150	49.8	42.0
50	59.4	54.0	160	49.3	40.5
60	57.8	52.5	170	48.7	39.0
70	56.5	51.5	180	48.2	38.5
80	55.3	49.5	190	47.8	38.0
90	54.3	49.0	200	47.3	37.5
100	53.4	46.5	210	46.9	37.5
110	52.5	46.0	220	46.5	37.5

*자료출처 : 해양수산부

4.2.5 마라도 기준국(290kHz) 수신기

1. 측정선 항적

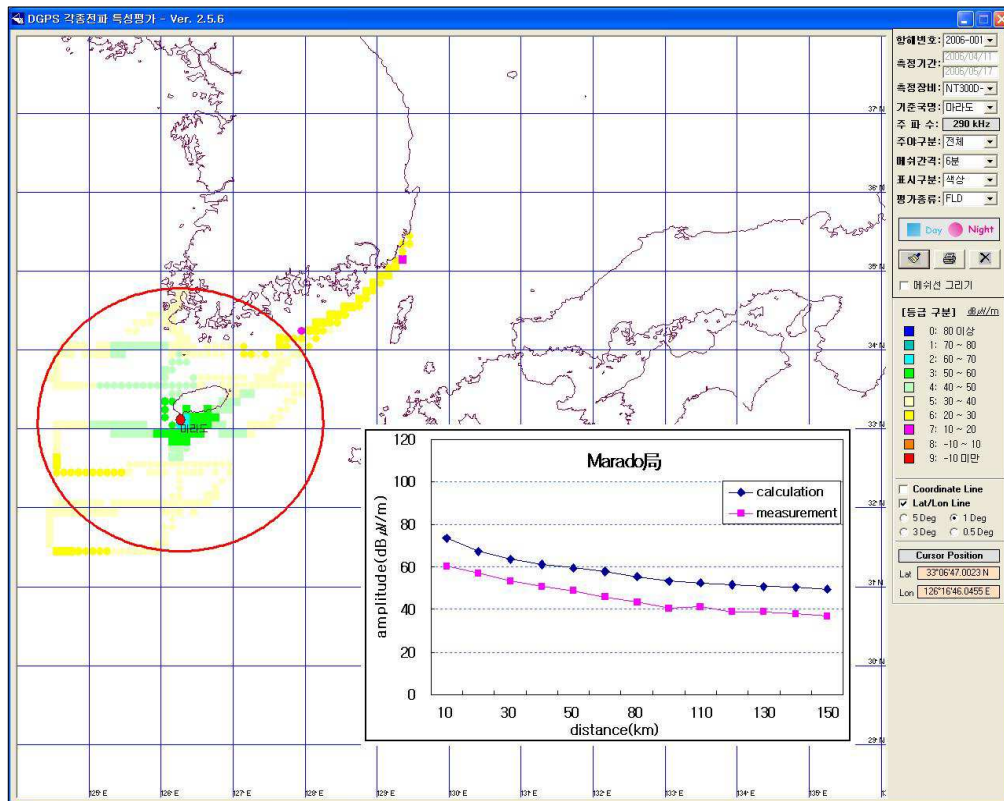
마라도 DGPS 기준국 전파측정을 위하여 측정선 “한빛호”는 2005년 3월 23일부터 4월 23일까지 32일간 마라도 DGPS 보정정보 이용범위 내·외에서 <그림 4-13>과 같은 항적으로 측정을 실시하였다.



<그림 4-13> 측정선 “한빛호” 항적도

2. 전계강도 분포도

마라도 DGPS 기준국 신호의 실측치를 살펴보면, U.S. Coast Guard 규정에 의한 최저수신강도 레벨($40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)을 기준으로 한 서비스 영역이 100km 정도로 이용 효율이 많이 떨어진다. 특히, 중파대역 전파 특성 모델에 의한 계산치와 측정치가 $10\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이상으로 나타나 전파 모델치에 차이가 나고 있으나 이는 마라도 DGPS 기준국 안테나가 발콘형으로 송신 출력의 효율이 낮게 나타난 것으로 판단된다(<그림 4-14> 및 <표 4-6>참조).



<그림 4-14> 마라도 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도

<표 4-6> 마라도 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치 비교

【단위:(dB μ V/m)】

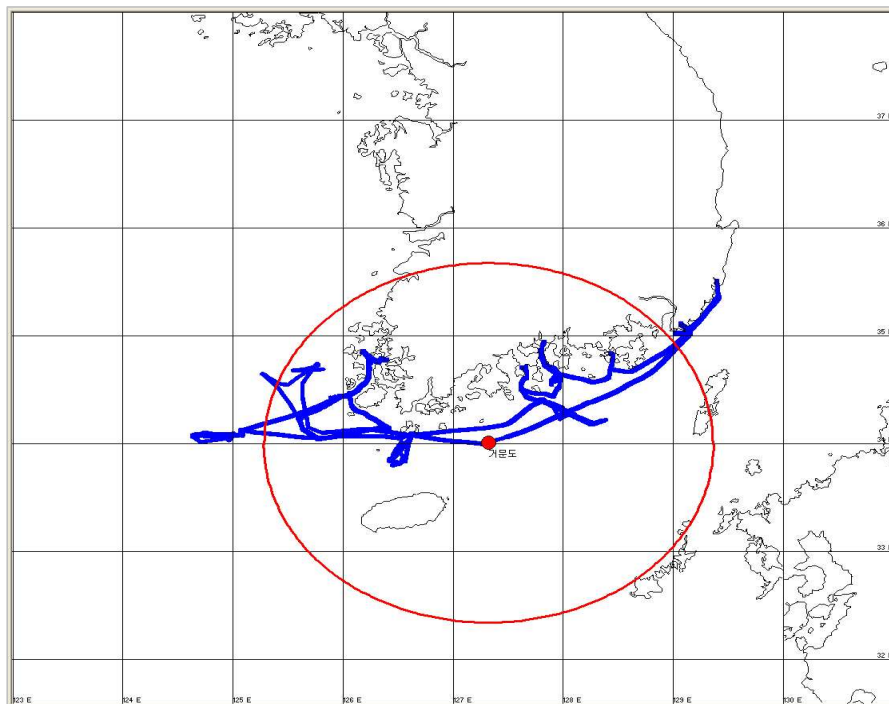
거리(km)	계산치	실측치*	거리(km)	계산치	실측치*
10	73.8	60.5	90	54.4	41.0
20	67.4	57.0	100	53.4	40.5
30	63.9	53.5	110	52.5	41.5
40	61.3	51.0	120	51.8	39.0
50	59.4	49.0	130	51.1	39.0
60	57.8	46.0	140	50.4	38.0
80	55.3	43.5	150	49.8	37.0

*자료출처 : 해양수산부

4.2.6 거문도 DGPS 기준국(287kHz)

1. 측정선 항적

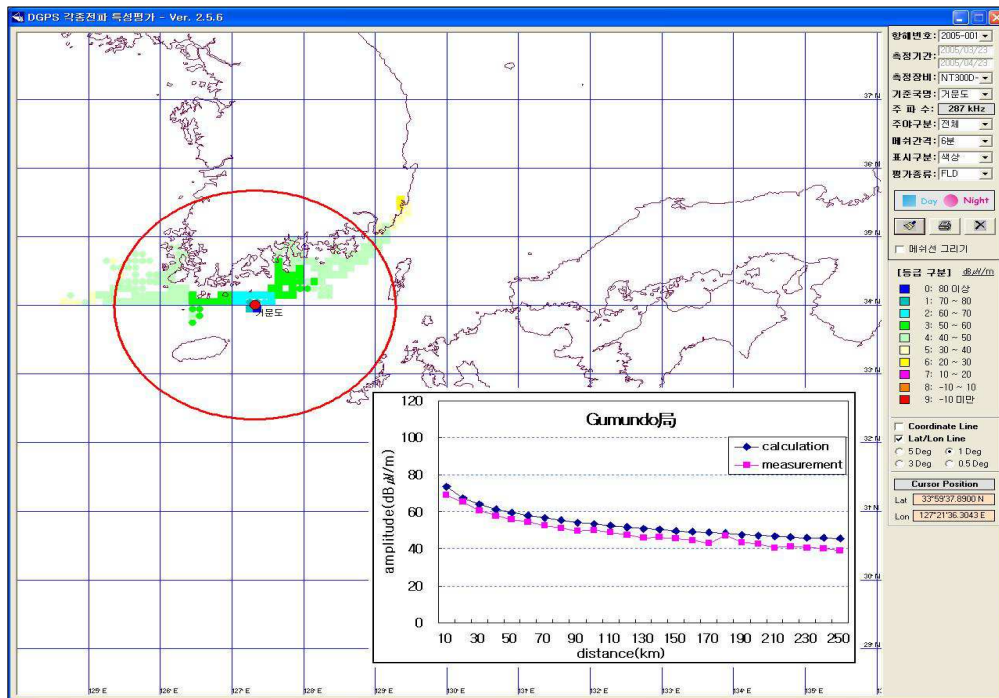
거문도 DGPS 기준국 전파측정을 위하여 측정선 “한빛호”는 2005년 3월 23일부터 4월 23일까지 32일간 거문도 DGPS 보정정보 이용범위 내·외에서 <그림 4-15>와 같은 항적으로 측정을 실시하였다.



<그림 4-15> 측정선 “한빛호” 항적도

2 . 전계강도 분포도

거문도 DGPS 기준국 신호의 실측치를 살펴보면, U.S. Coast Guard 규정에 의한 최저수신강도 레벨($40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)을 기준으로 한 서비스 영역을 초과하여 250km까지 영향을 미치고있다. 특히, 중파대역 전파 특성 모델에 의한 계산치와 측정치가 $5\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내로 아주 일치함을 볼 수 있다(<그림 4-16> 및 <표 4-7>참조).



<그림 4-16> 거문도 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도

<표 4-7> 거문도 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치 비교

【단위:(dBμV/m)】

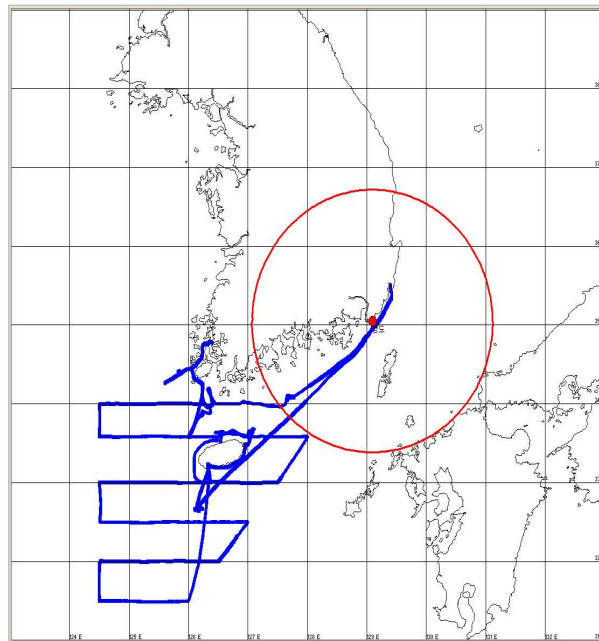
거리(km)	계산치	실측치*	거리(km)	계산치	실측치*
10	73.7	69.0	140	50.4	46.5
20	67.5	65.5	150	49.8	45.5
30	63.9	61.0	160	49.3	44.5
40	61.4	58.0	170	48.8	43.0
50	59.4	56.0	180	48.3	47.0
60	57.8	54.5	190	47.8	43.5
70	56.5	52.5	200	47.3	42.5
80	55.3	51.5	210	46.9	40.5
90	54.3	49.5	220	46.5	41.5
100	53.4	50.0	230	46.1	40.5
110	52.5	49.0	240	45.7	40.0
120	51.8	47.5	250	45.4	39.0
130	51.1	46.0	290	44.1	44.5

*자료출처 : 해양수산부

4.2.7 영도 DGPS 기준국(300kHz)

1. 측정선 항적

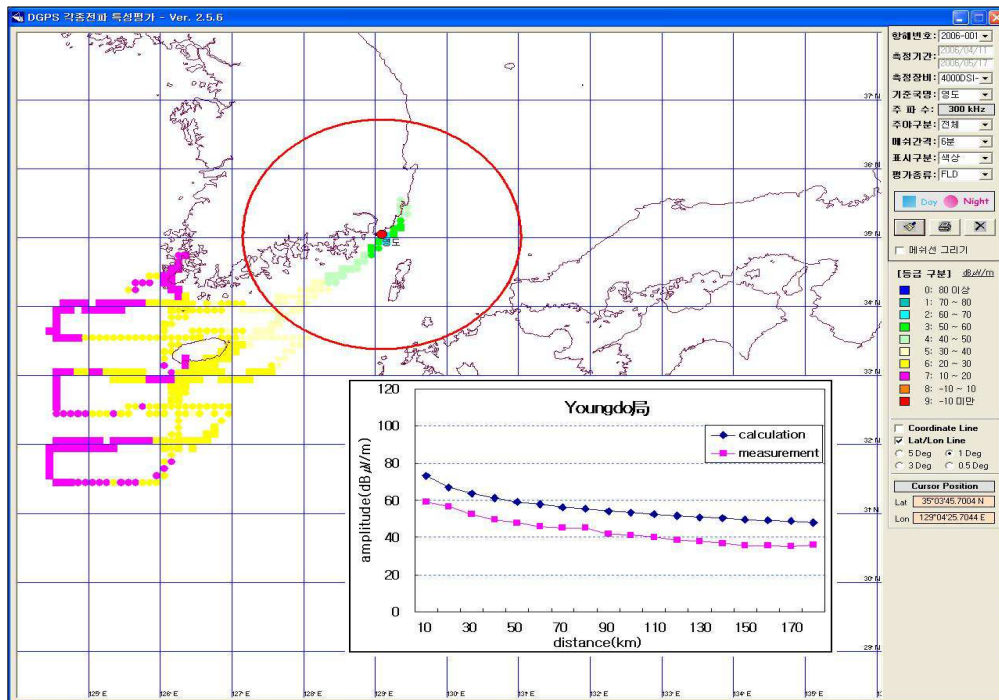
영도 DGPS 기준국 전파측정을 위하여 측정선 “한빛호”는 2006년 4월 11일부터 5월 17일까지 37일간 영도 DGPS 보정정보 이용범위 내·외에서 <그림 4-17>과 같은 항적으로 측정을 실시하였다.



<그림 4-17> 측정선 “한빛호” 항적도

2 . 전계강도 분포도

영도 DGPS 기준국 신호의 실측치를 살펴보면, U.S. Coast Guard 규정에 의한 최저수신강도 레벨($40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)을 기준으로 한 서비스 영역이 100km 정도로 이용 효율이 많이 떨어진다. 특히, 중파대역 전파 특성 모델에 의한 계산치와 측정치가 $10\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이상으로 나타나고 있으나, 이는 영도 DGPS 기준국 안테나가 높이가 30m 로 정상 안테나 높이 보다 15m 가 낮아 효율이 낮은 것으로 볼 수 있다(<그림 4-18> 및 <표 4-8>참조).



<그림 4-18> 영도 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도

<표 4-8> 영도 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치

【단위:(dB μ V/m)】

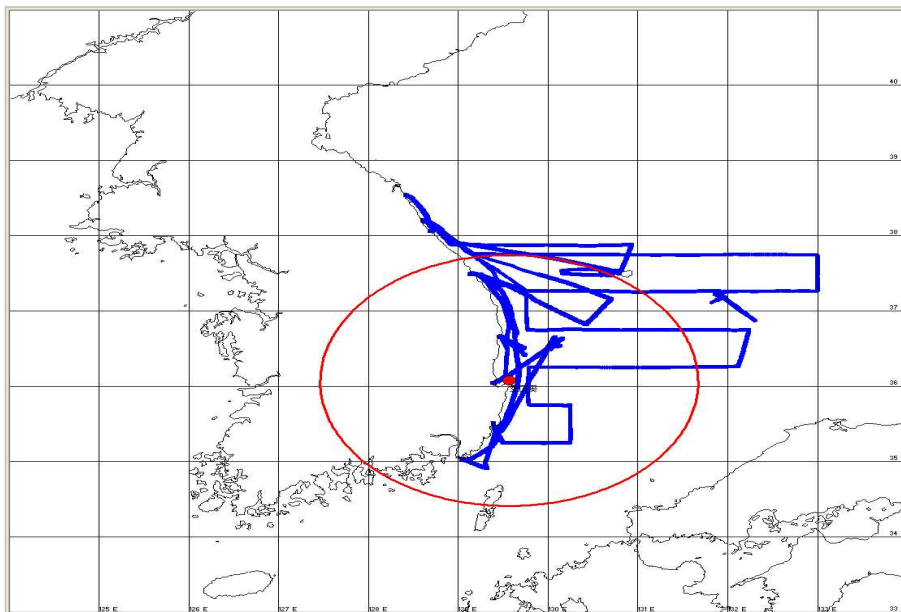
거리(km)	계산치	실측치*	거리(km)	계산치	실측치*
10	73.3	59.3	100	53.3	41.5
20	67.2	56.7	110	52.5	40.1
30	63.7	52.7	120	51.8	38.5
40	61.3	49.5	130	51.0	37.9
50	59.3	47.9	140	50.4	36.9
60	57.7	46.1	150	49.8	35.7
70	56.4	45.3	160	49.3	35.5
80	55.3	44.9	170	48.7	35.1
90	54.2	41.7	180	48.2	36.1

*자료출처 : 해양수산부

4.2.8 호미곶 DGPS 기준국(310kHz)

1. 측정선 항적

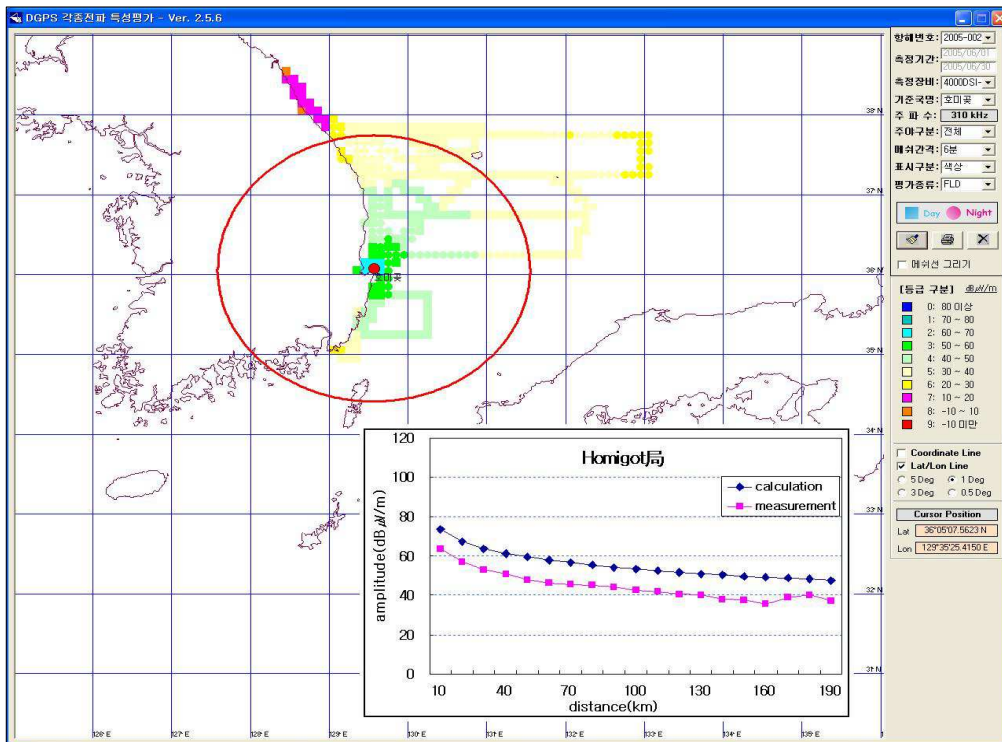
호미곶 DGPS 기준국 전파측정을 위하여 측정선 “한빛호”는 2005년 6월 1일부터 7월 8일까지 38일간 호미곶 DGPS 보정정보 이용범위 내·외에서 <그림 4-19>와 같은 항적으로 측정을 실시하였다.



<그림 4-19> 측정선 “한빛호” 항적도

2. 전계강도 분포도

호미곶 DGPS 기준국 신호의 실측치를 살펴보면, U.S. Coast Guard 규정에 의한 최저수신강도 레벨($40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)을 기준으로 한 서비스 영역(180km)과 거의 일치함을 볼수있다. 특히, 중파대역 전파특성 모델에 의한 계산치와 측정치가 $10\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이상으로 나타나고 있다. 이러한 현상은 호미곶 DGPS 기준국의 방사 접지가 해안쪽으로 짧게 시공되어 효율이 낮게 나타난 것으로 파악된다(<그림 4-20> 및 <표4-9>참조).



<그림 4-20> 호미곶 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도

<표 4-9> 호미곶 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치

【단위:(dBμV/m)】

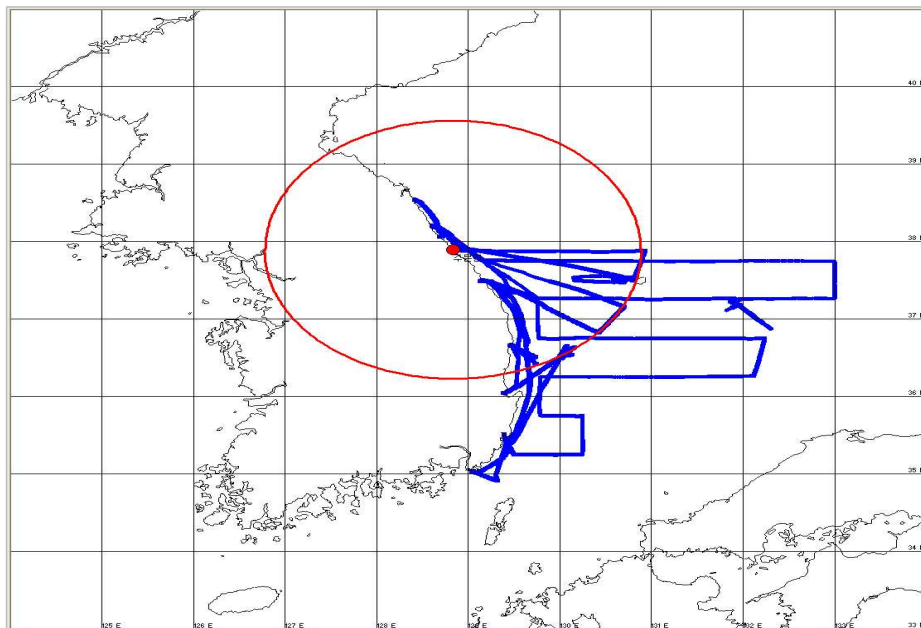
거리(km)	계산치	실측치*	거리(km)	계산치	실측치*
10	73.6	63.7	110	52.6	41.7
20	67.5	57.1	120	51.8	40.7
30	63.9	53.1	130	51.1	40.3
40	61.3	50.9	140	50.4	37.9
50	59.4	47.9	150	49.8	37.7
60	57.8	46.3	160	49.3	35.5
70	56.5	45.7	170	48.8	38.7
80	55.3	44.9	180	48.2	40.1
90	54.3	44.3	190	47.8	37.1
100	53.4	42.7			

*자료출처 : 해양수산부

4.2.9 주문진 DGPS 기준국(295kHz)

1. 측정선 항적

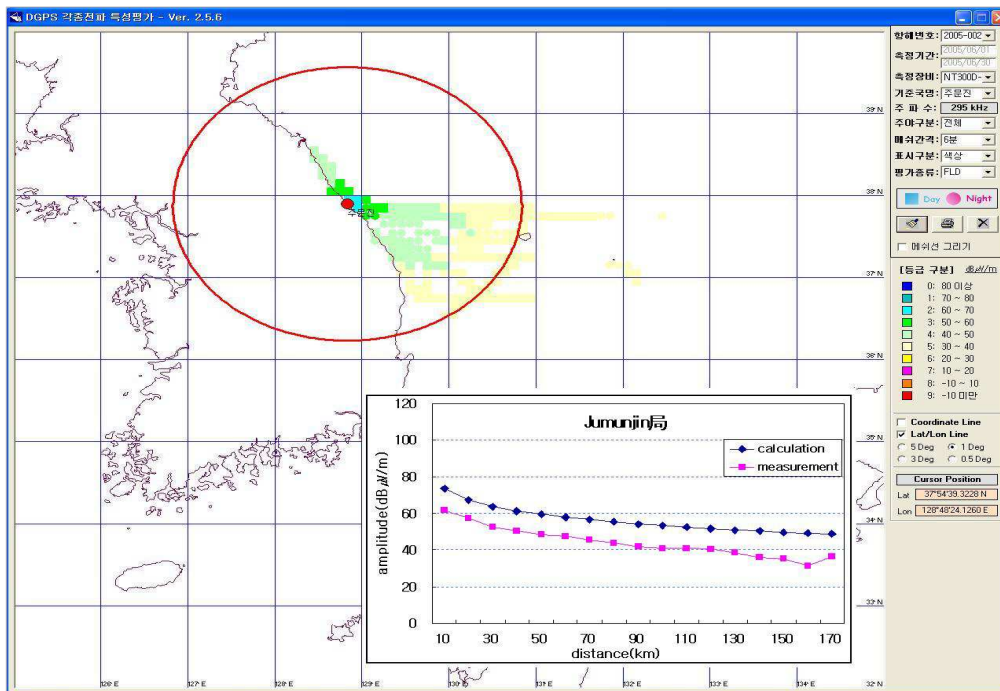
주문진 DGPS 기준국 전파측정을 위하여 측정선 “한빛호”는 2005년 6월 1일부터 7월 8일까지 38일간 주문진 DGPS 보정정보 이용범위 내·외에서 <그림 4-21>와 같은 항적으로 측정을 실시하였다.



<그림 4-21> 측정선 “한빛호” 항적도

2. 전계강도 분포도

주문진 DGPS 기준국 신호의 실측치를 살펴보면, U.S. Coast Guard 규정에 의한 최저수신강도 레벨($40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)을 기준으로 한 서비스 영역이 120km 정도로 이용 효율이 많이 떨어진다. 특히, 중파대역 전파특성 모델에 의한 계산치와 측정치가 $10\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이상으로 나타나 전파 모델치에 미치지 못하고 있는데 이는 주문진 DGPS 기준국 안테나가 발콘형으로 출력 효율이 낮게 나타나는 것으로 볼 수 있다(<그림 4-22> 및 <표 4-10>참조).



<그림 4-22> 주문진 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도

<표 4-10> 주문진 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치 비교

【단위:(dB μ V/m)】

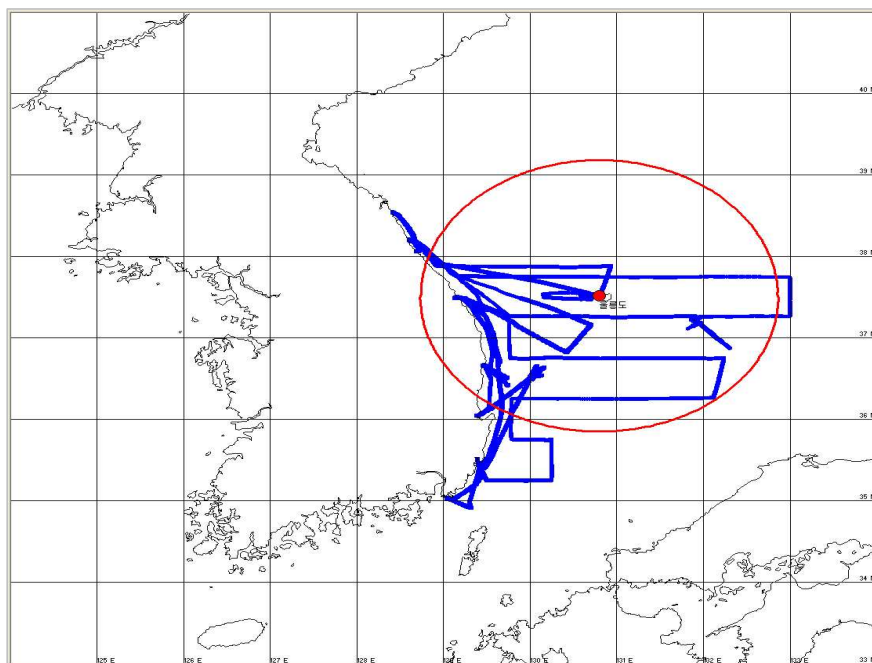
거리(km)	계산치	실측치*	거리(km)	계산치	실측치*
10	73.8	61.5	90	54.3	42.0
20	67.5	57.5	100	53.4	41.0
30	63.9	52.5	110	52.5	41.0
40	61.4	50.5	120	51.8	40.5
50	59.4	48.5	130	51.1	38.5
60	57.8	47.5	140	50.4	36.0
70	56.5	45.5	150	49.8	35.0
80	55.3	44.0			

*자료출처 : 해양수산부

4.2.10 울릉도 DGPS 기준국(319kHz)

1. 측정선 항적

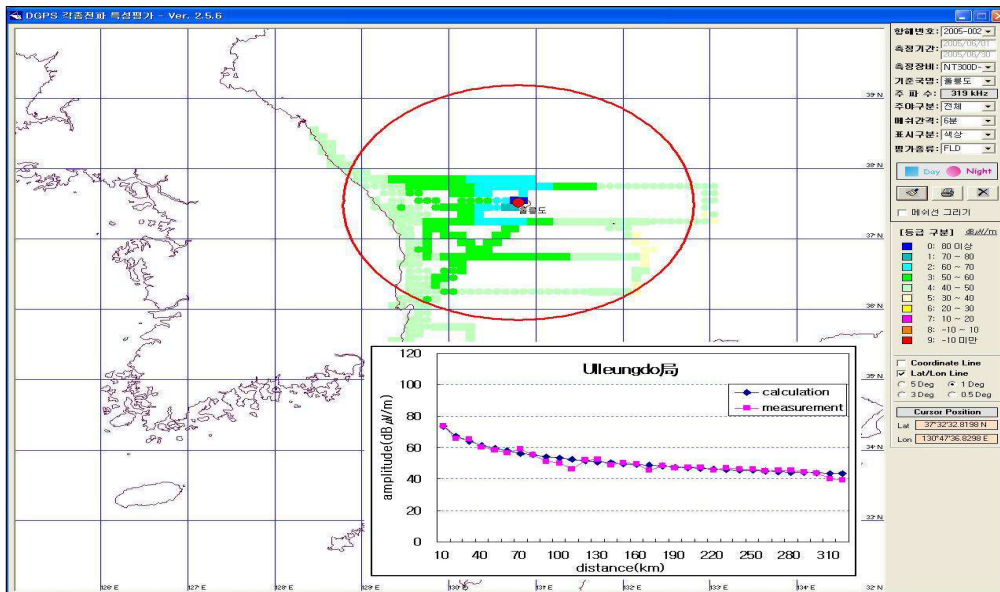
울릉도 DGPS 기준국 전파측정을 위하여 측정선 “한빛호”는 2005년 6월 1일부터 7월 8일까지 38일간 울릉도 DGPS 보정정보 이용범위 내·외에서 <그림 4-23>와 같은 항적으로 측정을 실시하였다.



<그림 4-23> 측정선 “한빛호” 항적도

2. 전계강도 분포도

울릉도 DGPS 기준국 신호의 실측치를 살펴보면, U.S. Coast Guard 규정에 의한 최저수신강도 레벨($40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)을 기준으로 한 서비스 영역을 초과하여 300km까지 영향을 미치고있다. 특히, 중파대역 전파 특성 모델에 의한 계산치와 측정치가 $2\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이하로 아주 일치함을 볼 수 있다(<그림 4-24> 및 <표 4-11>참조).



<그림 4-24> 울릉도 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도

<표 4-11> 울릉도 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치 비교

【단위:(dBμV/m)】

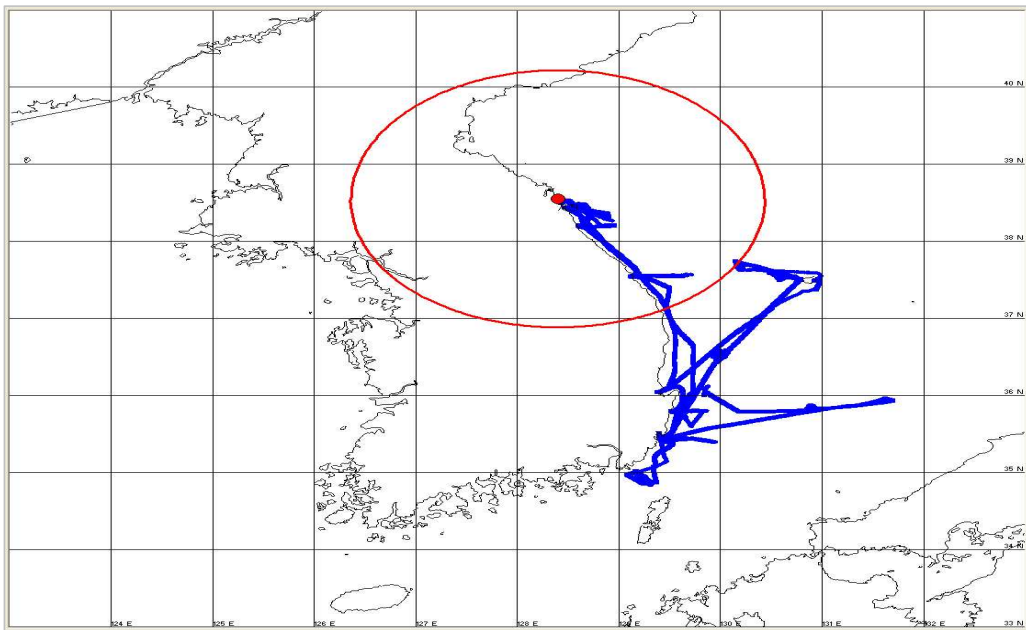
거리(km)	계산치	실측치	거리(km)	계산치	실측치
10	73.7	74	170	48.7	45.5
20	67.5	66	180	48.3	48.5
30	63.9	65.5	190	47.8	47
40	61.4	60.5	200	47.3	47.5
50	59.4	58.5	210	46.9	47.5
60	57.8	56.5	220	46.5	45.5
70	56.4	59	230	46.1	47
80	55.3	55.5	240	45.7	46.5
90	54.3	51.5	250	45.4	46.5
100	53.4	50	260	45.0	45
110	52.5	46.5	270	44.7	45.5
120	51.8	52	280	44.4	45.5
130	51.1	52.5	290	44.1	44.5
140	50.4	49	300	43.8	44
150	49.8	50.5	310	43.5	40
160	49.3	49.5	320	43.3	39.5

*자료출처 : 해양수산부

4.2.11 저진 DGPS 기준국(292kHz)

1. 측정선 항적

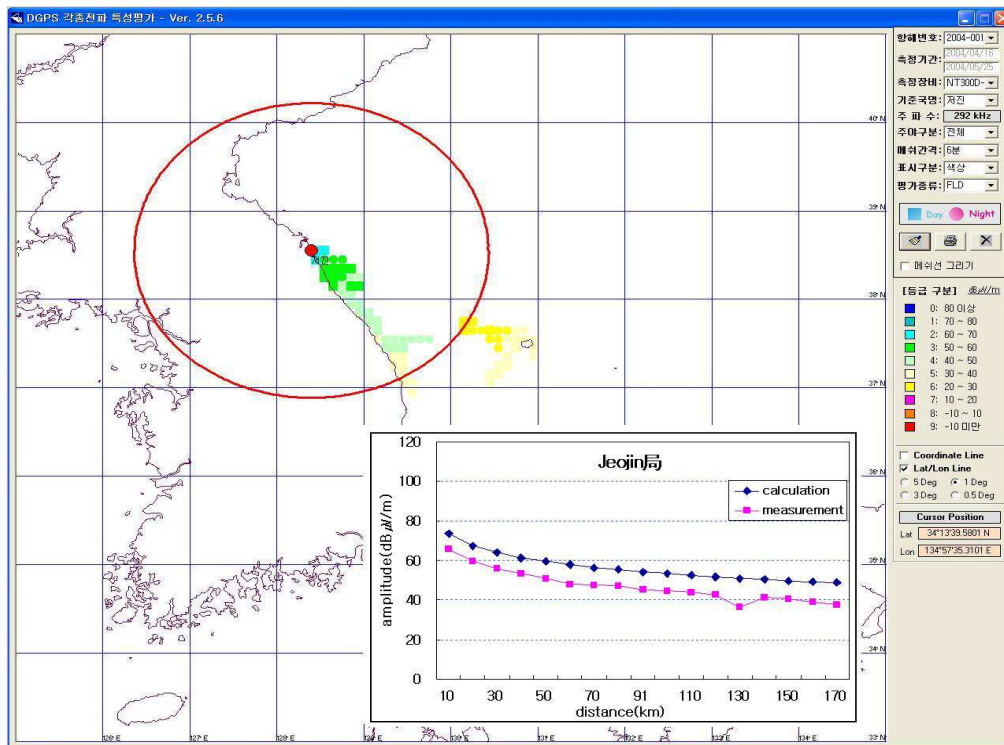
저진 DGPS 기준국 전파측정을 위하여 측정선 “한빛호”는 2004년 4월 16일부터 5월 25일까지 40일간 저진 DGPS 보정정보 이용범위 내·외에서 <그림 4-25>와 같은 항적으로 측정을 실시하였다.



<그림 4-25> 측정선 “한빛호” 항적도

2. 전계강도 분포도

저진 DGPS 기준국 신호의 실측치를 살펴보면, U.S. Coast Guard 규정에 의한 최저수신강도 레벨($40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)을 기준으로 한 서비스 영역이 150km 정도로 이용 효율이 조금 떨어진다. 특히, 중파대역 전파 특성 모델에 의한 계산치와 측정치가 $10\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이상으로 나타나 전파 모델치에 미치지 못하는 것으로 나타나고 있으나 이는 저진 DGPS 기준국 안테나가 발췌형으로 출력 효율이 낮은 것으로 볼 수 있다(<그림 4-26> 및 <표 4-11>참조).



<그림 4-26> 저진 DGPS 보정신호 유효범위 및 전계강도

<표 4-12> 저진 DGPS 보정신호의 거리별 전계강도 계산치 및 실측치 비교
【단위:(dBμV/m)】

거리(km)	계산치	실측치*	거리(km)	계산치	실측치*
10	73.8	66	100	53.3	44.5
20	67.4	59.5	110	52.5	44
30	63.9	56	120	51.8	42.5
40	61.4	53.5	130	51.1	36.5
50	59.4	51	140	50.4	41.5
60	57.8	48	150	49.8	40.5
70	56.5	47.5	160	49.3	39
80	55.3	47	170	48.7	37.5
90	54.2	45			

*자료출처 : 해양수산부

4.3 시뮬레이션 결과 및 분석

우리나라 해양용 DGPS 기준국 신호 측정치와 중파대역 전파특성 모델을 이용한 시뮬레이션 계산치를 비교 분석하여 중파대 전파특성 모델의 유효성을 검토하였다.

서해 연안에 설치·운영중인 소청도, 팔미도, 어청도, 소흑산도 및 남해 연안의 거문도 그리고 동해안의 울릉도 DGPS 기준국 신호에 대한 시뮬레이션 계산치는 측정치와 $5\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이하의 오차를 보였다. 이는 미국 해안경비대에서 기준으로 하는 수신장비간 실측치 오차 범위인 $10\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 보다 낮은 오차이다. 특히, 팔미도 및 울릉도 DGPS 기준국 신호에 대한 시뮬레이션 계산치는 측정치와 $2\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이하의 낮은 오차를 보였다.

반면, 마라도, 영도, 호미곶, 주문진 및 저진 DGPS 기준국 신호에 대한 측정치와 중파대 전파특성 모델의 시뮬레이션 계산치간 오차범위는 $10\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 내외의 값으로 나타났다. 이러한 현상은 안테나 성능이나 설치 특성에 기인하는 것으로 판단되었다. 마라도, 주문진 및 저진 DGPS 기준국 안테나가 발콤펜형식으로서 3각 지선식보다 안테나 출력의 성능이 약 5% 정도 낮다. 영도 DGPS 기준국 안테나는 3각 지선식이나 안테나의 높이가 35m로 정상적인 안테나의 높이인 45m에 비해 15m가 낮다. 또한 호미곶 DGPS 기준국의 경우에는 해안 쪽으로 안테나의 방사접지선이 짧게 설치되어 출력 효율이 떨어진 것으로 판단되었다.

결과적으로 안테나의 규격, 형식 및 방사접지가 만족스럽지 못한 경우에는 안테나 성능의 효율이 낮아져 DGPS 기준국 신호의 실측치와 중파대 전파특성 모델 시뮬레이션 계산치에 차이가 상대적으로 크게 발생하는 것을 확인하였다. 그러나 그 오차범위가 $10\sim 15\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이며, 시뮬레이션 계산치의 전계강도가 실측치의 경향을 잘 반영하는 것으로 나타났다. 그리고 안테나가 안정적인 출력을 갖춘 3각 지선식인 경우, 대부분의 해양용 DGPS 기준국 신호의 전계강도에 대한 측정치와 중파대 전파특성 모델 시뮬레이션 계산치는 $10\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이하의 낮은 오차범위로 확인되었다. 이로써 이러한 분석방법 및 결과를 토대로 우

리나라 해역에 영향을 미치는 중국 및 일본의 DGPS 보정신호를 연안 7개소에
설치·운영하고 있는 DGPS 보정신호 감시국에서 얻은 자료를 근거로 산출할
수 있다고 판단하였다.

제5장 주변국 DGPS 보정신호 전파영향 조사 및 신호간섭 대응전략

5.1 주변국 DGPS 보정신호 전파영향 조사

5.1.1 조사개요

1. 연안 DGPS 보정신호 감시 시스템

해양수산부에서는 DGPS 보정신호 전파를 모니터링하기 위하여 <그림 5-1>과 같이 7개소에 DGPS 감시시스템을 설치하여 운영하고 있다. <표 5-1>에 감시 장소에 대한 명세를 나타낸다. 이들 DGPS 보정신호 전파 감시 시스템은 국내 DGPS 보정신호뿐만 아니라 중국과 일본의 DGPS 보정신호를 실시간 모니터링 할 수 있도록 설계 되었다. 이에 따라 우리나라 연안 해역에 영향을 미치는 중국과 일본의 DGPS 보정신호 전파영향을 파악할 수 있다.



<그림 5-1> DGPS 보정신호 감시시스템 장소

<표 5-1> DGPS 보정신호감시 시스템 설치 장소

위 치	소재지	주 소	좌 표
인천	인하대학교	인천 남구 용현동 인하대학교 교내	N37:27:05.942 E126:39:11.609
군산	군산해양경찰서	전북 군산시 소룡동	N35:57:59.952 E126:37:18.493
진도	진도항로표지 종합관리소	전남 진도군 임회면 남동리	N34:22:01.710 E126:08:06.228
여수	백야도 항로표지관리소	전남 여수시 화정면 백야리	N34:36:32.603 E127:39:14.827
간절곶	간절곶 항로표지관리소	울산시 울주군 서생면 대송리	N35:21:32.942 E129:21:37.658
죽변	죽변 항로표지관리소	경북 울진군 죽변면 죽변리	N37:03:02.180 E129:25:44.368
속초	속초 항로표지관리소	강원도 속초시 영랑동	N38:12:48.479 E128:36:00.496

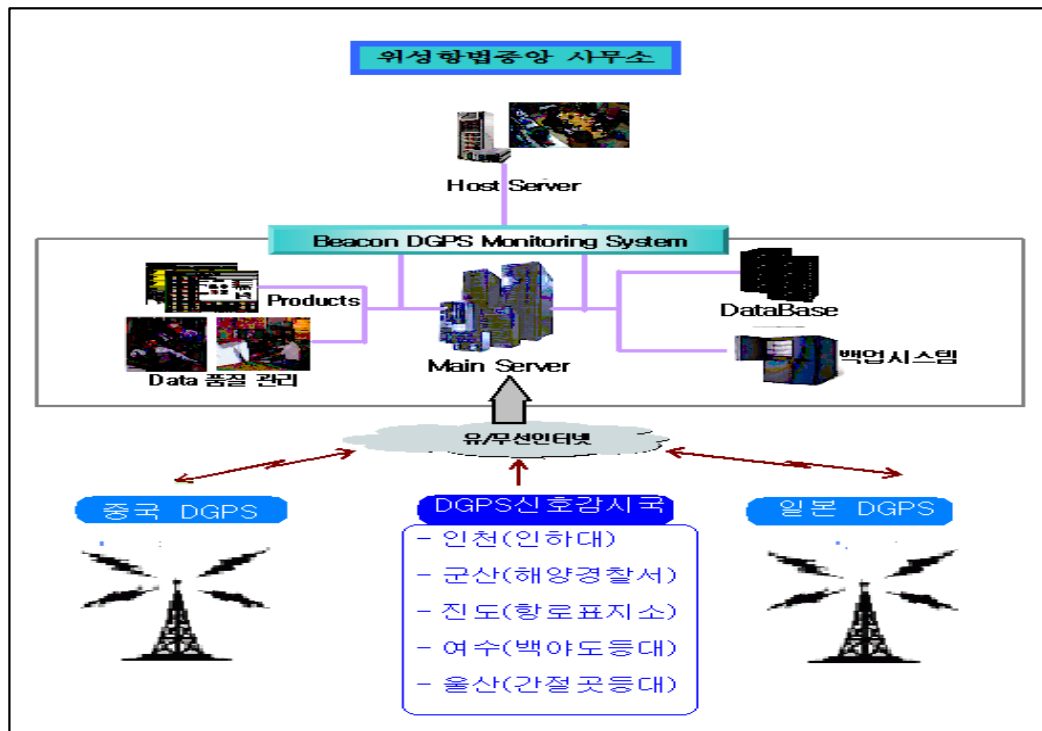
2. 주변국 DGPS 보정신호 측정기간

중국과 일본의 DGPS 보정신호에 대하여 2006년 5월 1일부터 7월 31일까지 3개월간 연안 5개 감시국에서 측정하였다.

5.1.2 DGPS 감시시스템 개요

1. 시스템 구성도

연안 6개 DGPS 보정신호 감시국에서 수집된 중국 및 일본 DGPS 기준국 보정신호는 인터넷망을 이용하여 대전 위성항법중앙사무소의 중앙 서버로 전송되어 데이터 저장장치에 DB로 구축되도록 설계됐다(<그림 5-2> 참조).



<그림 5-2> DGPS 보정신호 감시시스템 구성도

2. 측정 장비

본 연구에서는 전용 DGPS 보정신호 전파측정 수신기(Stellar 2000, 인하대 개발) 하드웨어를 응용 활용하였다(<표 5-2> 참조). 시스템 integration을 통하여 응용 개발된 자체 장비와 운용 소프트웨어를 핵심 모니터링기기로 활용하여 Beacon 전파신호를 모니터링하였다. 활용된 DGPS 보정신호 전파측정 단말기는 측정지점의 위치정보와 283.5~325.0 kHz 대역에서 0.5 kHz간격으로 84개의 다중 기준국 전파를 일정시간 간격으로 스캐닝하여 식별 가능한 가용 기준국들을 모두 보고하도록 하였다. 가용한 기준국들의 보정신호 전파는 IALA(International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities)에 등록된 기준국의 비콘 주파수와 식별번호(reference ID) 그리고 RTCM(Radio Technical Commission For Maritime Services) 헤더정보의 유의성 여부(flag), 전계강도(signal strength), 잡음 대 신호비(SNR) 등의 제공된 정보를 점검하여 기록된다.

<표 5-2> DGPS 단말기 및 안테나 주요사양

구 분		주 요 사 양
DGPS 단말기	Position Accuracy	< 1m CEP
	Channel	12 Parallel Tracking Channel (283.5~325.0 kHz)
	L1 Frequency	1.57542 GHz, C/A code
	Communication Protocol	NMEA (19200 Fixed baud rate)
DGPS 안테나	GPS Frequency Range	1.575 GHz (L1)
	GPS Bandwidth	3MHz
	Frequency	283.5~325.0 kHz
	LNA Gain	34dB

3. 감시시스템 구성

전파감시 모니터링 네트워크에 사용되는 운용 소프트웨어(인하대 개발)는 DGPS 보정신호 전파모니터링용 단말기로부터 취득된 비콘 전파정보를 해독하여 사전에 데이터베이스화되어 있는 우리나라 및 주변국 비콘 정보와 비교하여 실시간으로 스캐닝된 각 기준국의 주파수대역, 식별부호, 전계강도, 신호품질, SNR 그리고 측정위치로부터의 기선거리에 대한 자료를 처리하여 저장한 후 실시간으로 대전 위성항법중앙사무소 메인서버로 송신되어 있다(<그림 5-3> 참조).



<그림 5-3> 진도 DGPS 보정신호 감시시스템

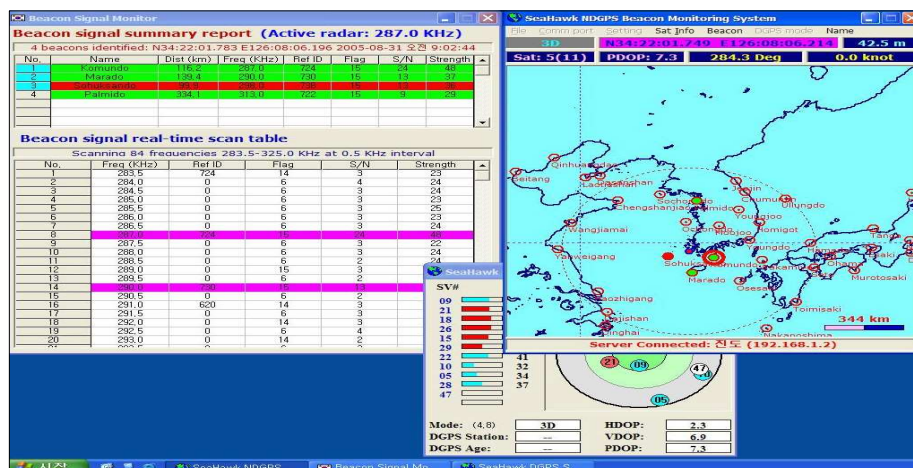
4. 측정 데이터 처리방법

DGPS 보정신호를 수신하는 경우 일기변화에 따라 전계강도는 유사한 측정값이 나타나지만 신호대 잡음비(SNR)의 변화가 크기 때문에 위 기간에 측정된 데이터 중 일기를 고려하여 기상청 운무정보를 바탕으로 운무량이 5이상인 측정일의 데이터는 제거한 후 전체 자료를 산술평균하였다.

연안 DGPS 감시국에서 측정한 중국 및 일본의 DGPS 기준국 측정값을 최소자승법을 이용하여 유의성 높은 측정값을 데이터베이스화하여 처리하였다.

5. 측정 데이터 분석

현장조사를 통하여 실시간으로 유무선 IT 서버-클라이언트 네트워크를 거쳐 획득된 자료는 DGPS 보정신호 전파 감시시스템에 맞도록 DB를 구축하였다. Beacon 전파감시 DB 구축에 필요한 항목으로는 감시 클라이언트의 고유 ID(고정 감시국), 전파자료 획득시간, 획득지점의 경위도(WGS-84), 고도, DGPS fix에 이용된 Beacon 기준국의 이름, 기준국 고유 ID, 검파된 기준국의 주파수, SNR, 전계강도, 전파감시 위치로부터 해당 기준국까지의 거리, DGPS 위치결정의 여부, 작동 모드(자동 모드, 강제 검색모드, 레이더 검색모드) 등으로 구성되어 있다(<그림 5-4> 참조).



<그림 5-4> 진도 DGPS 보정신호 모니터링 현황

5.1.3 국내 · 외 DGPS 보정신호 측정값 현황

우리나라의 DGPS 보정신호 및 주변국인 중국과 일본의 DGPS 보정신호에 대하여 인천, 군산, 진도, 여수 및 간절곶의 5개 연안 감시국에서 신호의 강도를 측정하였다. <표 5-2>에 측정된 결과를 나타낸다. 표에 나타난 바와 같이 각 DGPS국으로 부터의 감시국까지의 거리와 전계강도를 표시했다. 이러한 주변국의 각 DGPS국에 대한 측정데이터를 바탕으로 유효범위에 대한 분석은 다음절에서 자세히 기술한다.

<표 5-3> 국내 · 외 DGPS 보정신호 모니터링 현황

감시국	DGPS기준국	거리(km)	전계강도 (dB μ V/m)
인천	어청도	159.5	36.75
	소청도	172.9	38.06
	Chenshanjiao	348.9	35.50
	Dasanshan	449.5	33.10
군산	팔미도	155.0	38.29
	소흑산도	249.9	31.45
	Wangjiamai	556.3	28.00
진도	거문도	116.2	44.03
	마라도	139.4	35.97
	Haozhigang	486.9	34.00
	Yangweigang	582.3	34.40
여수	영도	140.0	38.58
	Osesaki	238.2	29.10
간절곶	호미곶	82.0	44.98
	Wakamiya	168.2	26.10
	Hamada	249.2	30.40
죽변	호미곶	109.6	49.52
	저진	189.1	35.39
속초	주문진	40.6	36.07
	울릉도	207.8	31.70

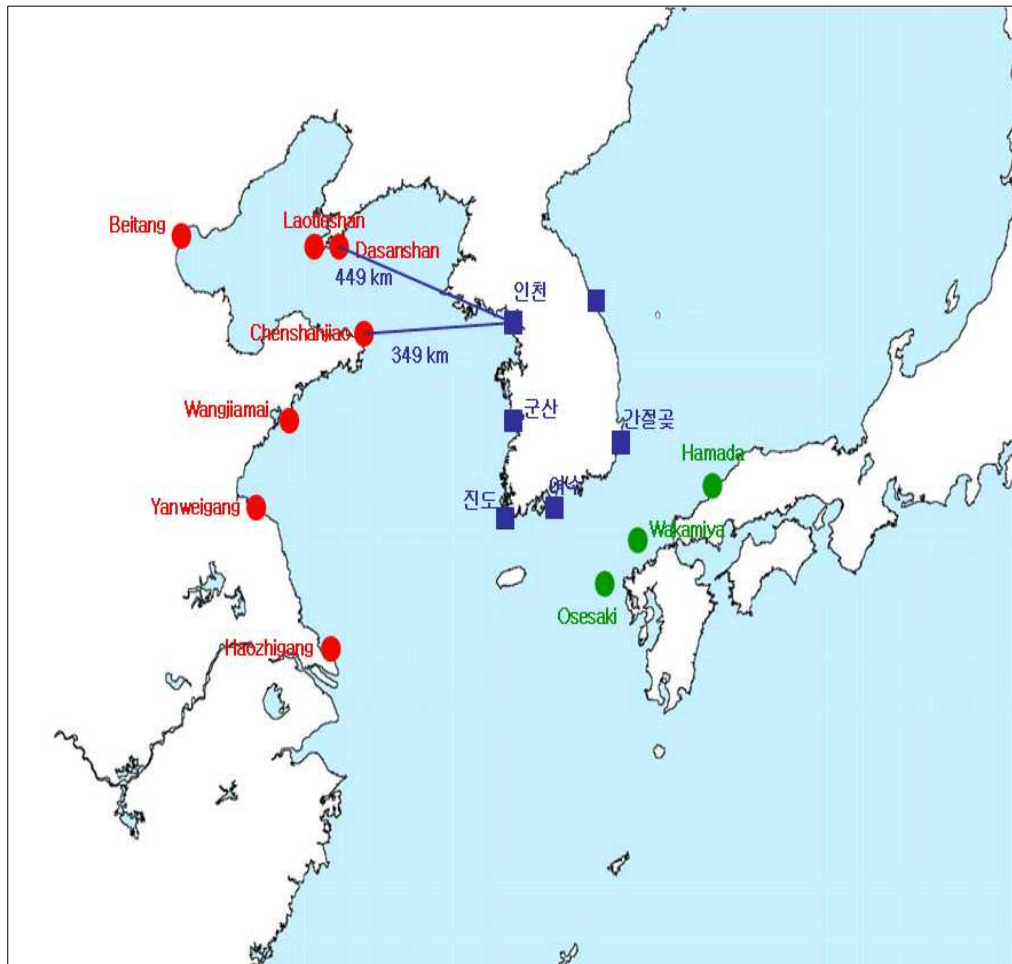
측정기간 : 2006년 5월 1일 ~ 7월 31일

5.2 중국의 DGPS 보정신호 전계강도 조사 및 분석

5.2.1 Dasanshan DGPS 보정신호 전파 조사

1. Dasanshan DGPS 기준국 신호

중국의 발해만에 위치한 Dasanshan DGPS 기준국 신호를 449Km 떨어진 인천(인하대 구내)에서 2006년 5월 1일부터 7월 31일까지 실시간 측정하여 대전 위성항법중앙사무소에 설치된 DB서버에 저장하였다(<그림 5-5> 참조).

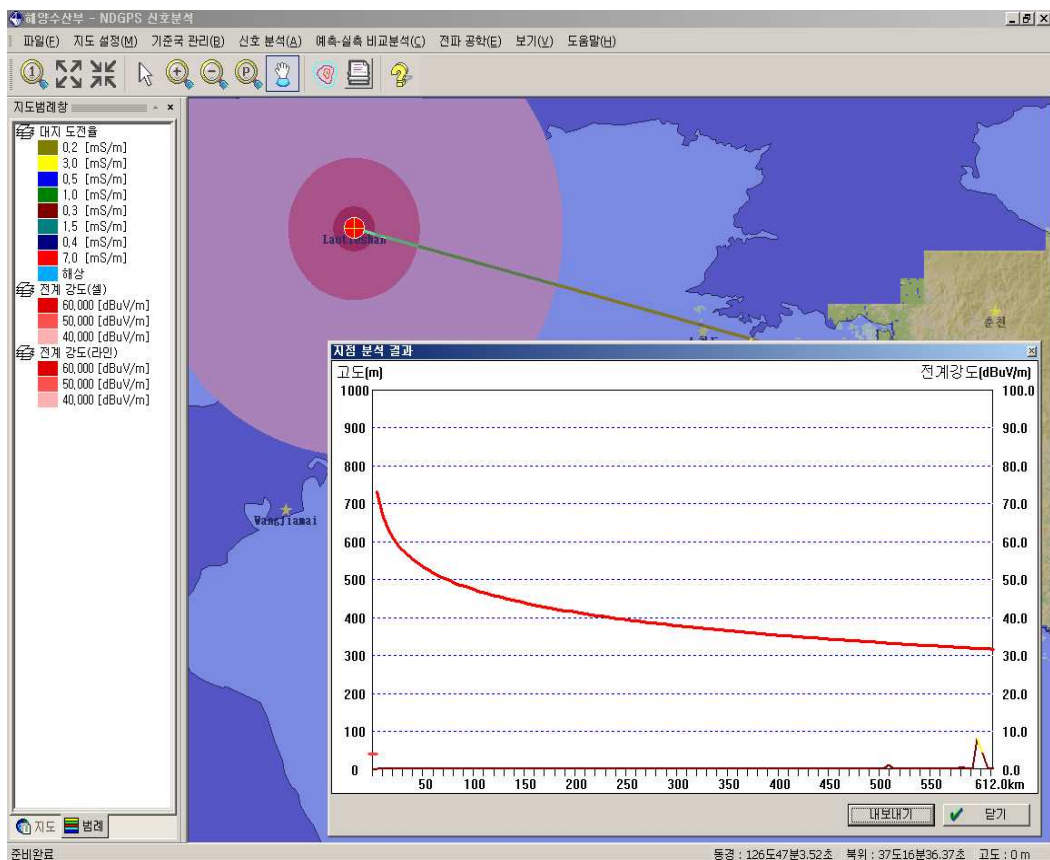


<그림 5-5> Dasanshan DGPS과 인천 DGPS 보정신호 감시국간 직선거리

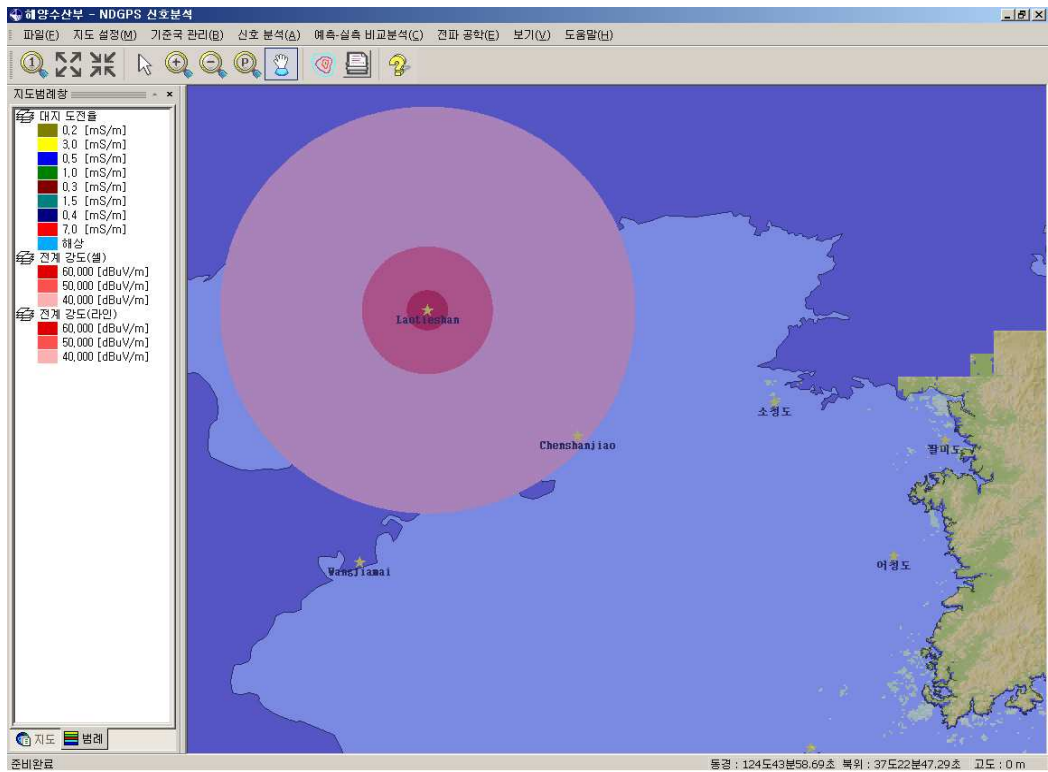
2. 자료분석

Dasanshan DGPS 기준국 신호를 인천 감시국에서 실측한 자료에 근거하여 중파대역 전파특성 모델을 이용한 시뮬레이션 결과 해양용 DGPS 유효범위 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 가 약 250Km 에 이르는 것으로 나타났다(<그림 5-6> 및 <그림 5-7> 참조).

이러한 현상은 인천 감시국과 Dasanshan DGPS 기준국간 직선거리 449Km 를 고려시 중간선을 넘어 우리해역에 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다



<그림 5-6> Dasanshan DGPS 보정신호세기 변화율



<그림 5-7> Dasanshan DGPS 유효신호 범위

5.2.2 Chenshanjiao DGPS 보정신호 전파 조사

1. Chenshanjiao DGPS 기준국 신호

우리나라와 지역적으로 가장 가까운 산둥반도 끝 부분에 위치한 Chenshanjiao DGPS 기준국 신호를 348Km 떨어진 인천(인하대 구내) 감시국에서 조사하였다 (<그림 5-8> 참조).

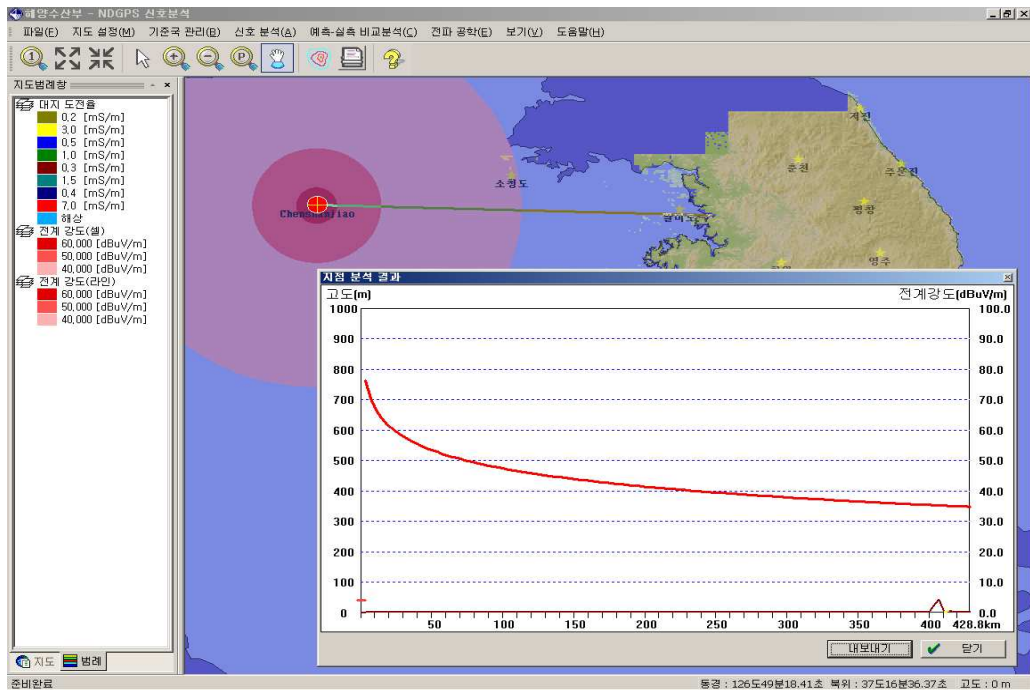


<그림 5-8> Chenshanjiao DGPS과 인천 DGPS 보정신호 감시국간 직선거리

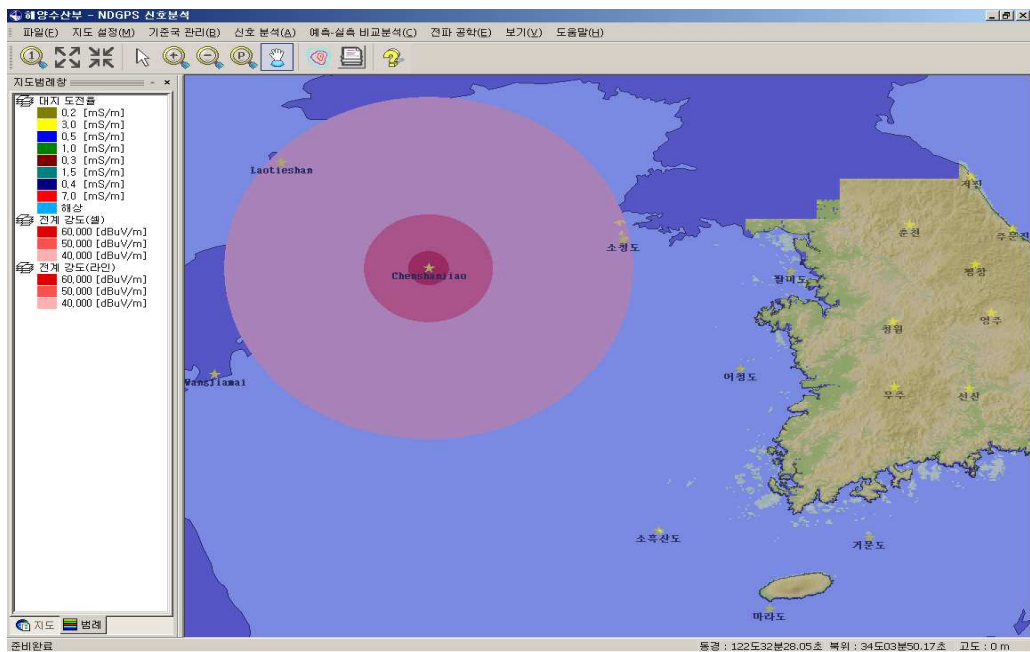
2. 자료분석

Chenshanjiao DGPS 기준국 신호를 인천 감시국에서 실측한 자료에 근거 하여 중파대역 전파특성 모델을 이용한 시뮬레이션 결과 해양용 DGPS 보정신호 유효범 위 40dB μ V/m 이상이 약 250Km에 이른다(<그림 5-9> 및 <그림 5-10> 참조).

이러한 현상은 인천 감시국과 Chenshanjiao DGPS 기준국간 직선거리 348 Km를 고려시 인천에서 100Km 해역까지 Chenshanjiao DGPS 보정신호가 강하 게 침투하고 있음을 알 수 있다



<그림 5-9> Chenshanjiao DGPS 보정신호세기 변화율

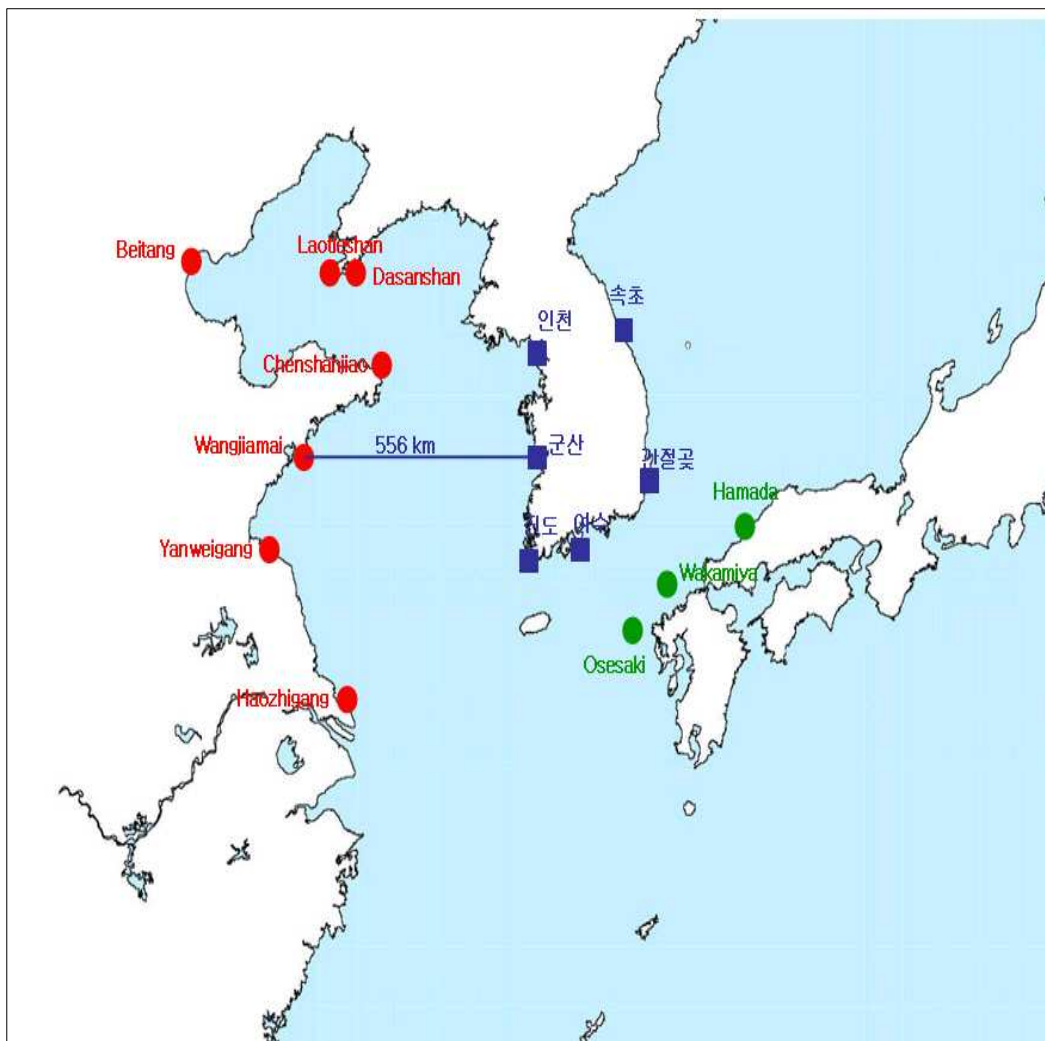


<그림 5-10> Chenshanjiao DGPS 보정신호 유효범위

5.2.3 Wangjiamai DGPS 보정신호 전파 조사

1. Wangjiamai DGPS 기준국 신호

Wangjiamai DGPS 기준국 신호를 556Km 떨어진 군산(해양경찰서 옥상) 감시국에서 조사하였다(<그림 5-11> 참조).

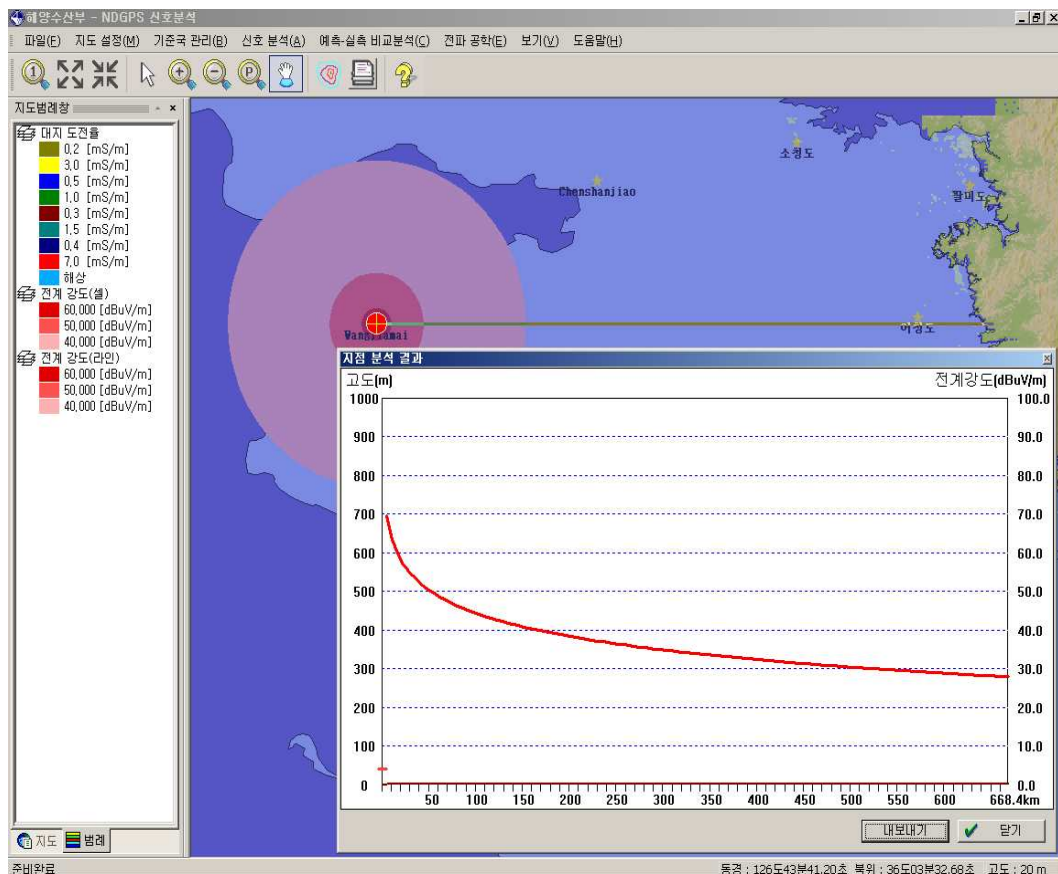


<그림 5-11> Wangjiamai DGPS과 군산 DGPS 보정신호 감시국간 직선거리

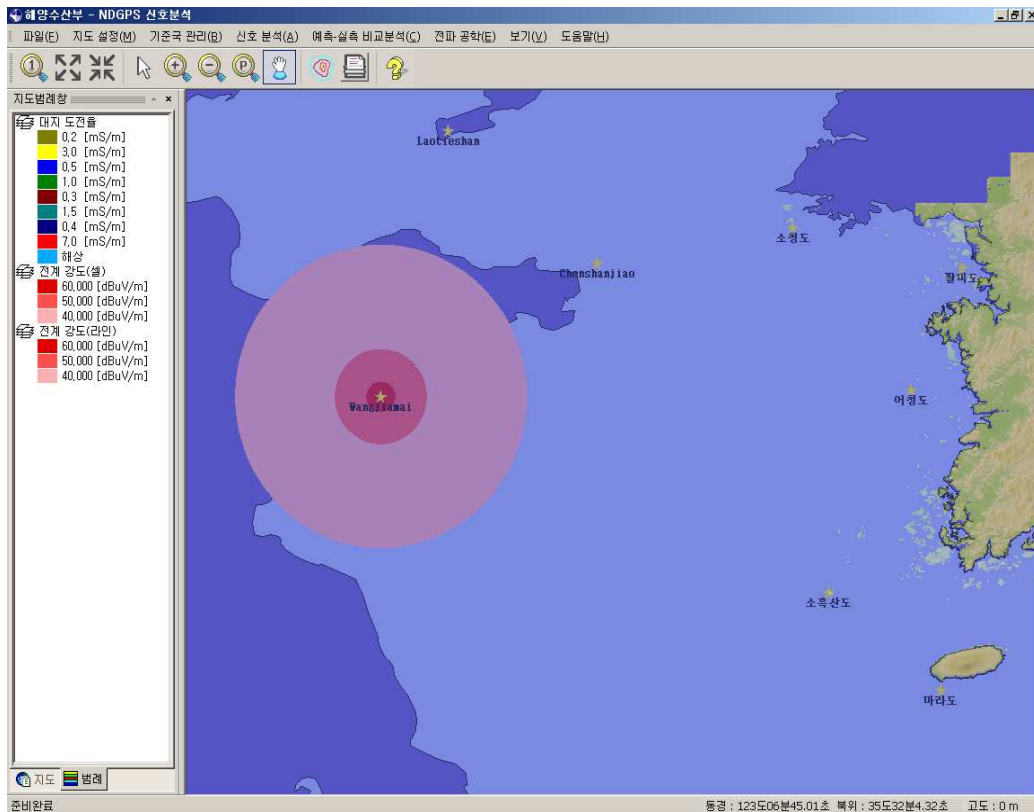
2. 자료분석

Wangjiamai DGPS 기준국 신호를 군산 감시국에서 실측한 자료에 근거하여 중파대역 전파특성 모델을 이용한 시뮬레이션 결과 해양용 DGPS 보정신호 유효범위 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이상이 약 180Km 정도로 파악됐다(<그림 5-12> 및 <그림 5-13> 참조).

이러한 현상은 군산 감시국과 Wangjiamai DGPS 기준국간 직선거리 556 Km를 고려시 우리나라 해역에 그다지 영향을 미치지 않는 것으로 파악 됐다.



<그림 5-12> Wangjiamai DGPS 보정신호세기 변화율

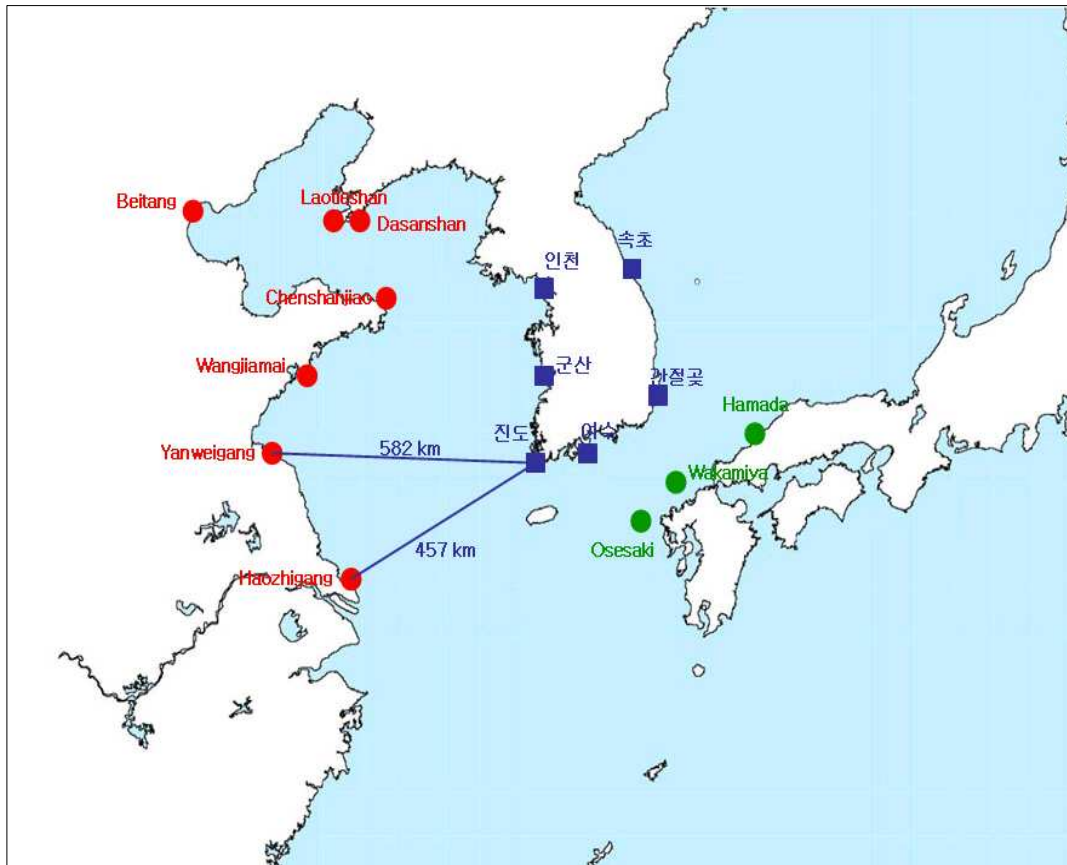


<그림 5-13> Wangjiamai DGPS 보정신호 유효범위

5.2.4 Yanweigang DGPS 보정신호 전파 조사

1. Yanweigang DGPS 기준국 신호

우리나라 서해남부와 남해서부 해역에 영향을 미칠 것으로 예상되는 Yanweigang DGPS 기준국 신호를 582Km 떨어진 진도 항로표지종합관리소 육상 감시국에서 조사하였다. (<그림 5-14> 참조).

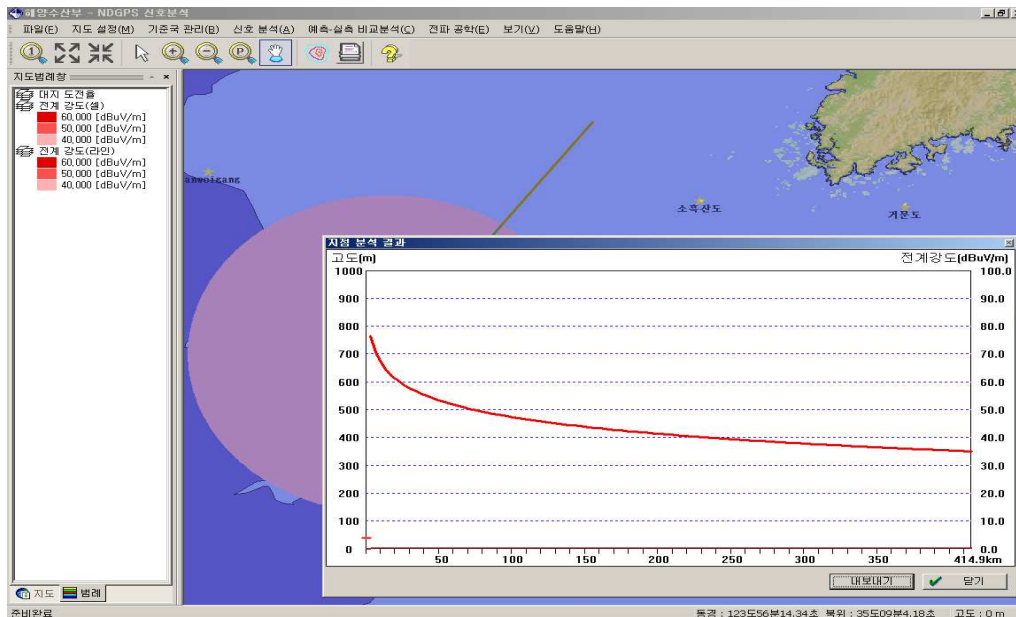


<그림 5-14> Yanweigang DGPS과 군산 DGPS 보정신호 감시국간 직선거리

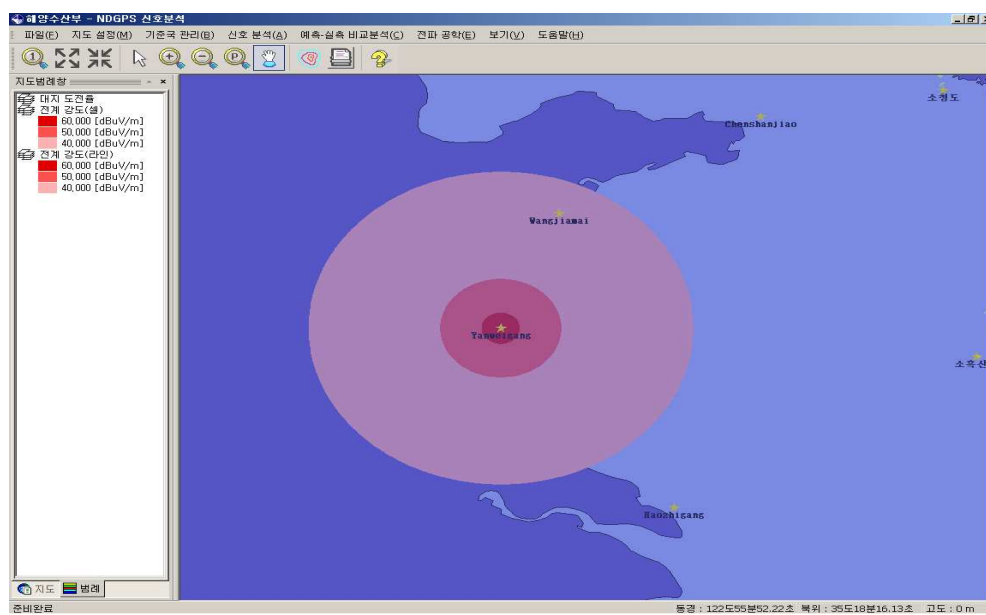
2. 자료분석

Yanweigang DGPS 기준국 신호를 진도 항로표지종합관리소 감시국에서 실측한 자료에 근거하여 중파대역 전파특성 모델을 이용한 시뮬레이션 결과 해양용 DGPS 보정신호 유효범위 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이상이 약 250Km 에 이르는 것으로 파악됐다(<그림 5-15> 및 <그림 5-16> 참조).

이러한 현상은 진도 항로표지관리소와 Yanweigang DGPS 기준국간 직선거리 582Km 를 고려시 우리나라 해역에 그다지 영향을 미치지 않는 것으로 파악 된다.



<그림 5-15> Yanweigang DGPS 보정신호세기 변화율

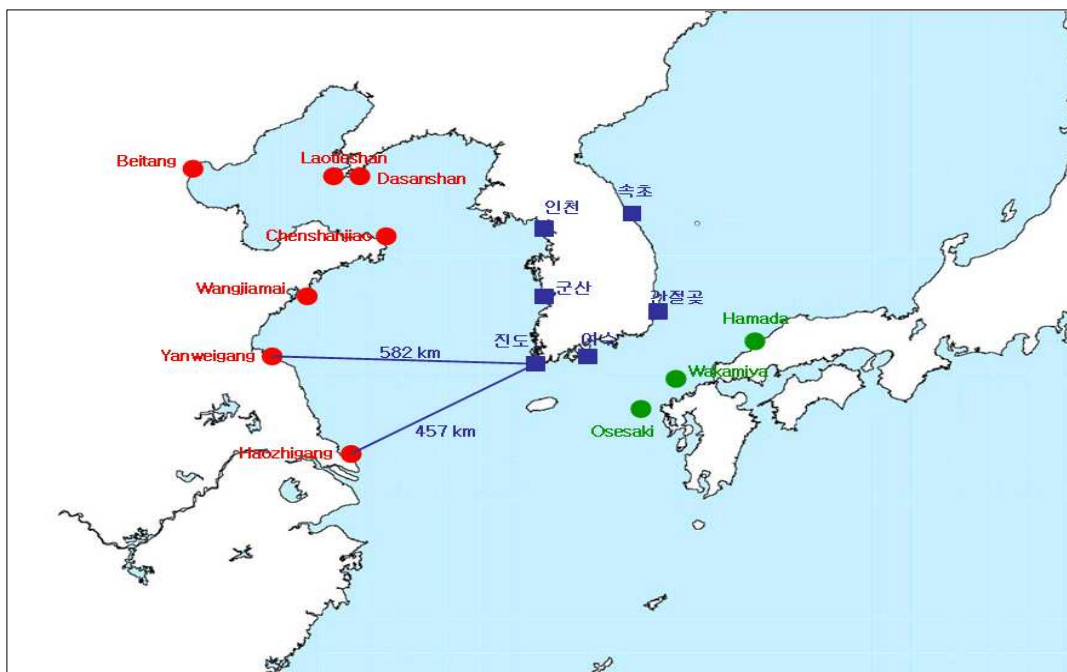


<그림 5-16> Yanweigang DGPS 보정신호 유효범위

5.2.5 Haozhigang DGPS 보정신호 전파 조사

1. Haozhigang DGPS 기준국 신호

우리나라 서해남부와 남해서부 해역에 영향을 미칠 것으로 예상되는 Haozhigang DGPS 기준국 신호를 457Km 떨어진 진도 향로표지종합관리소 육상 감시국에서 조사하였다. (<그림 5-17> 참조).

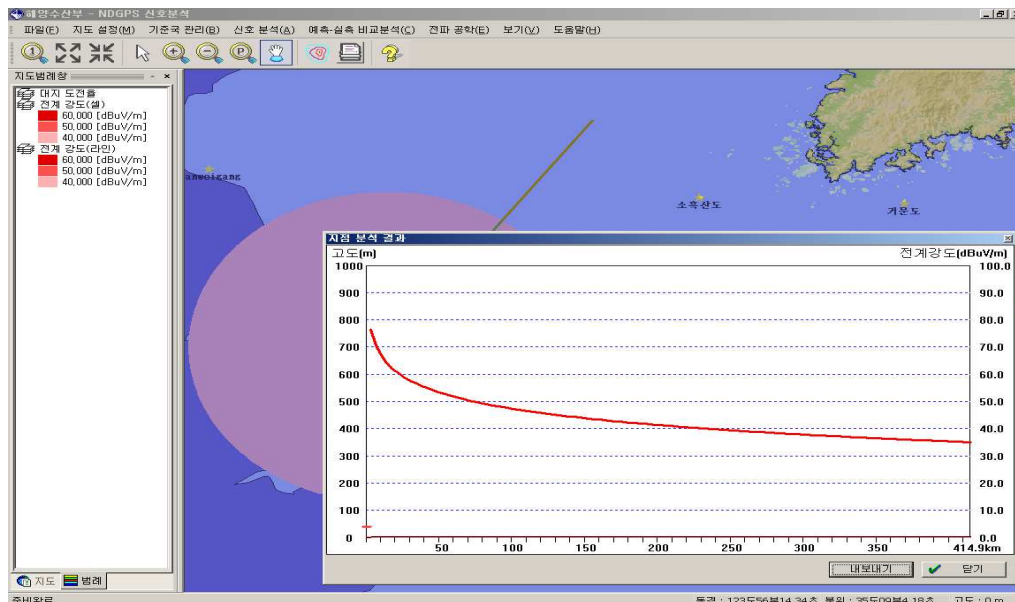


<그림 5-17> Haozhigang DGPS과 진도 DGPS 보정신호 감시국간 직선거리

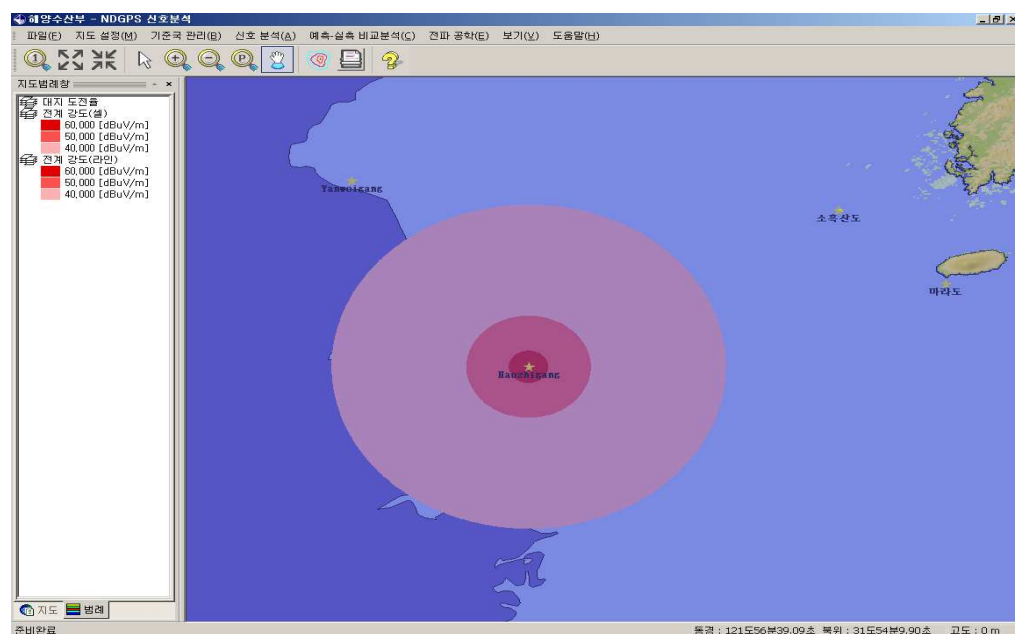
2. 자료분석

Haozhigang DGPS 기준국 신호를 진도 향로표지종합관리소 감시국에서 실측한 자료에 근거하여 중파대역 전파 특성 모델을 이용한 시뮬레이션 결과 해양용 DGPS 보정신호 유효범위 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이상이 약 250Km에 이르는 것으로 파악됐다 (<그림 5-18> 및 <그림 5-19> 참조).

이러한 현상은 진도 항로표지관리소와 Haozhigang DGPS 기준국간 직선거리 457Km를 고려시 우리나라 해역에 그다지 영향을 미치지 않는 것으로 파악 된다.



<그림 5-18> Yanweigang DGPS 보정신호세기 변화율



<그림 5-19> Yanweigang DGPS 보정신호 유효범위

5.3 일본의 DGPS 보정신호 전계강도 조사 및 분석

5.3.1 Osesaki DGPS 보정신호 전파 조사

1. Osesaki DGPS 기준국 신호

우리나라 남해역에 영향을 미칠 것으로 예상되는 Osesaki DGPS 기준국 신호를 457Km 떨어진 여수 백야도 항로표지관리소 감시국에서 조사하였다<그림 5-20> 참조).

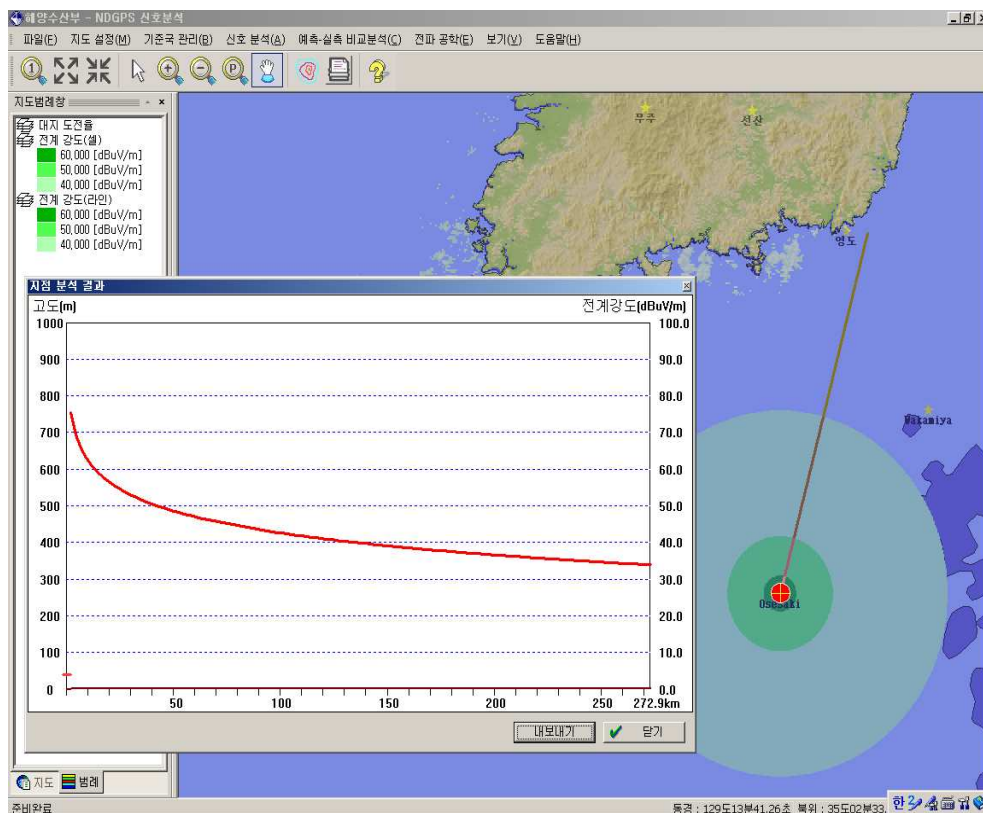


<그림 5-20> Osesaki DGPS과 백야도 DGPS 보정신호 감시국간 직선거리

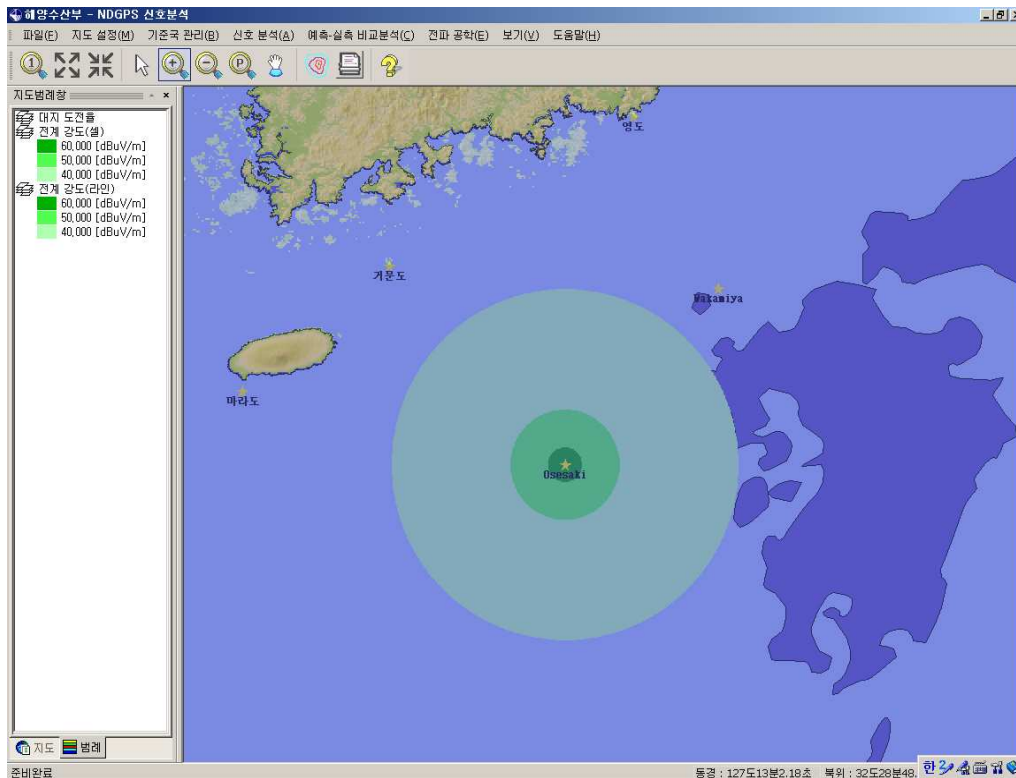
2. 자료분석

Osesaki DGPS 기준국 신호를 백야도 항로표지관리소 감시국에서 실측한 자료에 근거하여 중파대역 전파특성 모델을 이용한 시뮬레이션 결과 해양용 DGPS 보정 신호 유효범위 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이상이 약 140Km 에 이르는 것으로 파악됐다(<그림 5-21> 및 <그림 5-22> 참조).

이러한 현상은 백야도 항로표지관리소와 Osesaki DGPS 기준국간 직선거리 238Km 를 고려시 우리나라 남해역에 크게 영향을 미치고 있는 것으로 파악 된다.



<그림 5-21> Osesaki DGPS 보정신호세기 변화율



<그림 5-22> Osesaki DGPS 보정 신호 유효범위

5.3.2 Wakamiya DGPS 보정 신호 전파 조사

1. Wakamiya DGPS 기준국 신호

우리나라 남해역에 영향을 미칠 것으로 예상되는 Wakamiya DGPS 기준국 신호를 168Km 떨어진 울산 간절곶 항로표지관리소 감시국에서 조사하였다<그림 5-23> 참조).



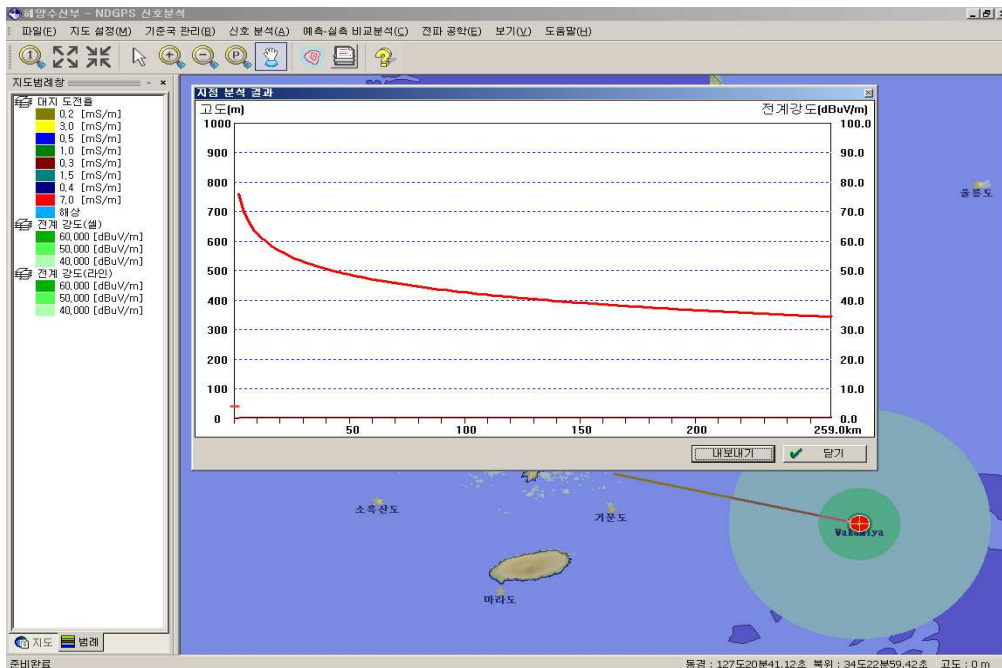
<그림 5-23> Wakamiya DGPS과 간절곶 DGPS 감국국간 직선거리

2. 자료분석

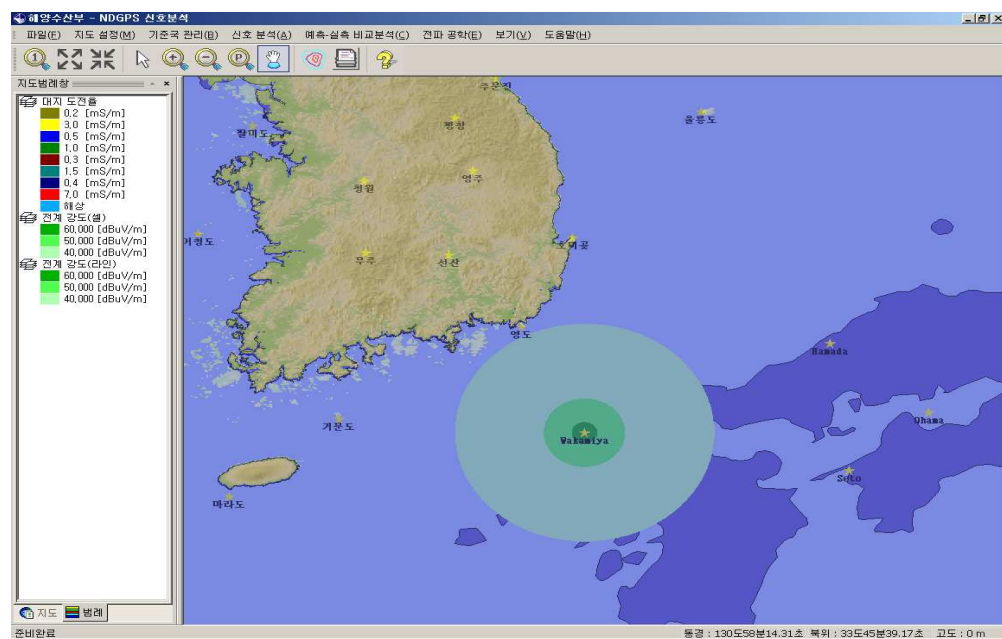
Wakamiya DGPS 기준국 신호를 간절곶 항로표지관리소 감시국에서 실측한 자료에 근거하여 중파대역 전파특성 모델을 이용한 시뮬레이션 결과 해양용 DGPS 보정신호 유효범위 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이상이 약 150Km 에 이르는 것으로 파악됐다

(<그림 5-24> 및 <그림 5-25> 참조)

이러한 현상은 간절곶 항로표지관리소와 Wakamiya DGPS 기준국간 직선거리 168Km 를 고려시 우리나라 동해남부 및 남해동부 해역에 크게 영향을 미치고 있는 것으로 파악된다.



<그림 5-24> Wakamiya DGPS 보정신호세기 변화율



<그림 5-25> Wakamiya DGPS 보정신호 유효범위

5.3.3 Hamada DGPS 보정신호 전파 조사

1. Hamada DGPS 기준국 신호

우리나라 동해역에 영향을 미칠 것으로 예상되는 Hamada DGPS 기준국 신호를 312Km 떨어진 울산 간절곶 항로표지관리소 감시국에서 조사하였다
<그림 5-26> 참조).



<그림 5-26> Hamada DGPS와 간절곶 DGPS 감시국간 직선거리

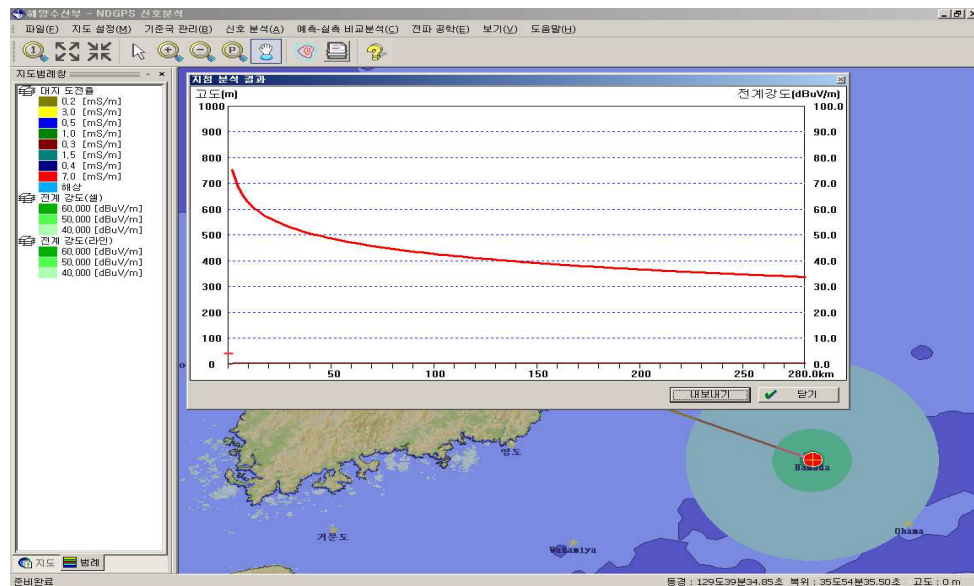
2. 자료분석

Hamada DGPS 기준국 신호를 간절곶 항로표지관리소 감시국에서 실측한 자료에 근거하여 중파대역 전파특성 모델을 이용한 시뮬레이션 결과 해양용 DGPS 보정신

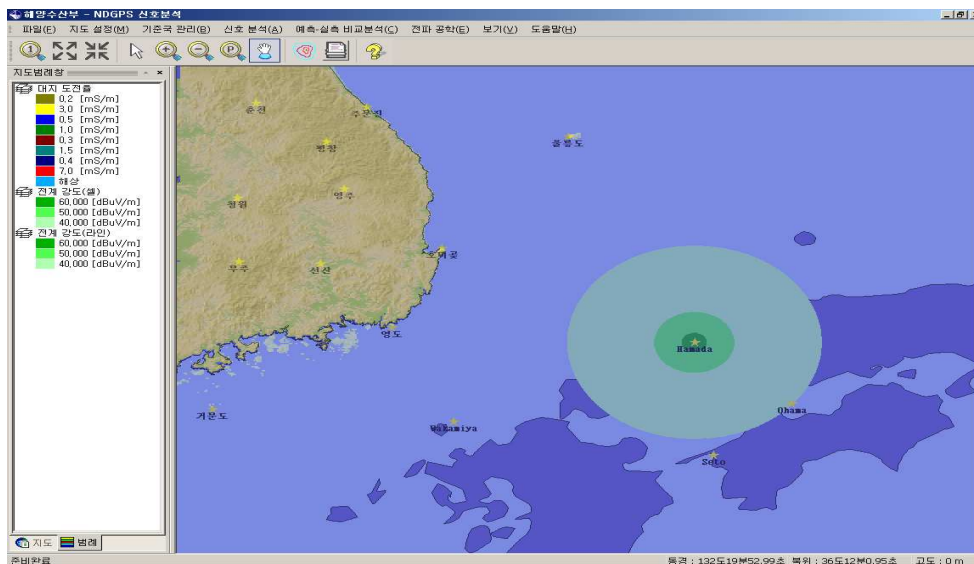
호 유효범위 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이상이 약 150Km에 이르는 것으로 파악됐다

(<그림 5-27> 및 <그림 5-28> 참조)

이러한 현상은 간절곶 항로표지관리소와 Hamada DGPS 기준국간 직선거리 249Km를 고려시 우리나라 동해남부 해역에 그다지 크게 영향을 미치고 있지 않는 것으로 파악된다.



<그림 5-27> Hamada DGPS 보정신호세기 변화율



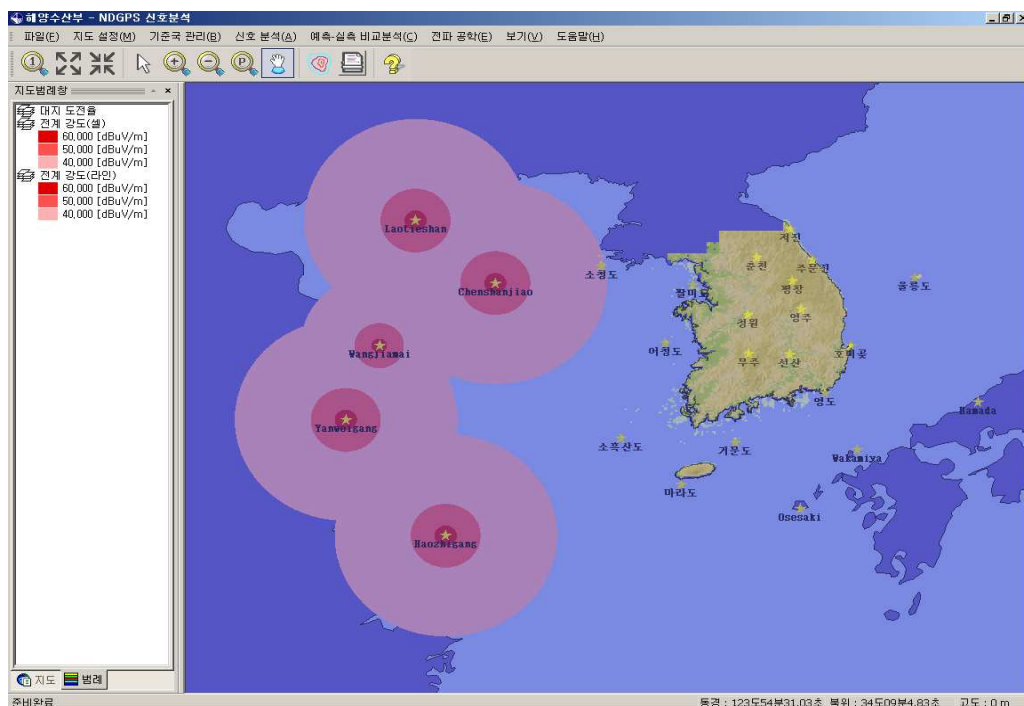
<그림 5-28> Hamada DGPS 보정신호 유효범위

5.4 주변국 DGPS 보정신호간섭 결과 분석

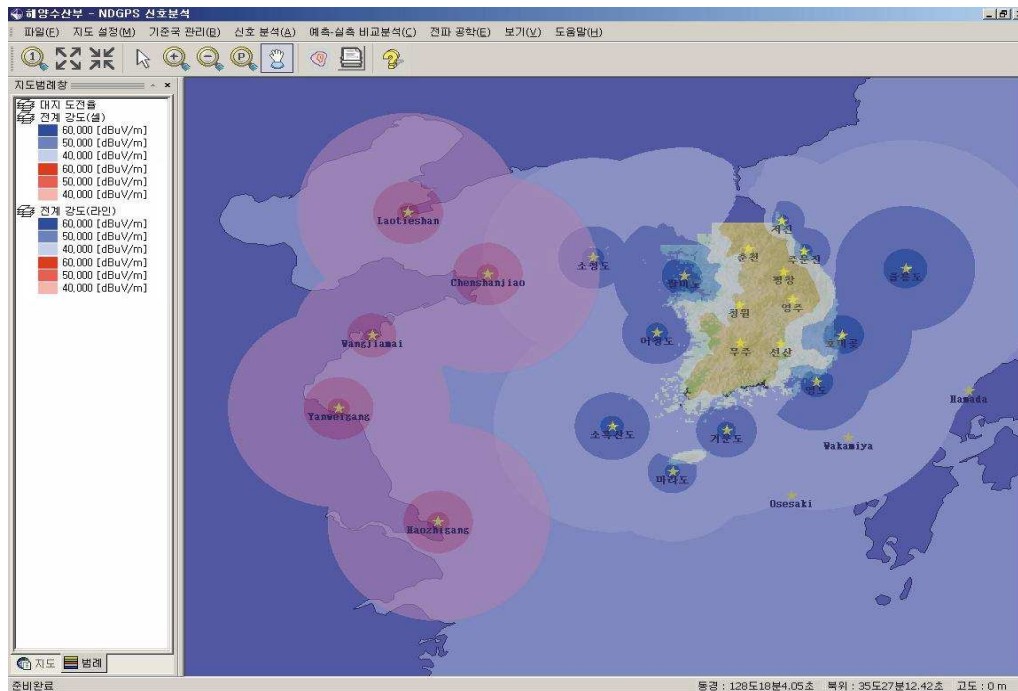
5.4.1 중국의 DGPS 보정신호 영향

DGPS 보정신호의 유효범위가 황해역에서 어디까지 영향을 미치는지를 파악하기 위하여 미국 해안경비대가 제시하는 전계강도 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이상을 기준으로 중과대 전파특성 모델을 이용한 시뮬레이션 결과치를 분석하였다.

결과적으로 중국 산둥반도에 위치한 Chenshanjiao DGPS기준국 신호가 우리나라 서해 경기만 깊숙이 영향을 미쳐 인천항 입·출항 선박 및 주변 해역 항해선박이 소청도 및 팔미도 DGPS 기준국 신호 보다 중국의 Chenshanjiao DGPS기준국 신호를 받을 수 있는 것으로 파악되었다(<그림 5-29> 및 <그림 5-30> 참조).



<그림 5-29> 중국의 DGPS 보정신호 유효범위

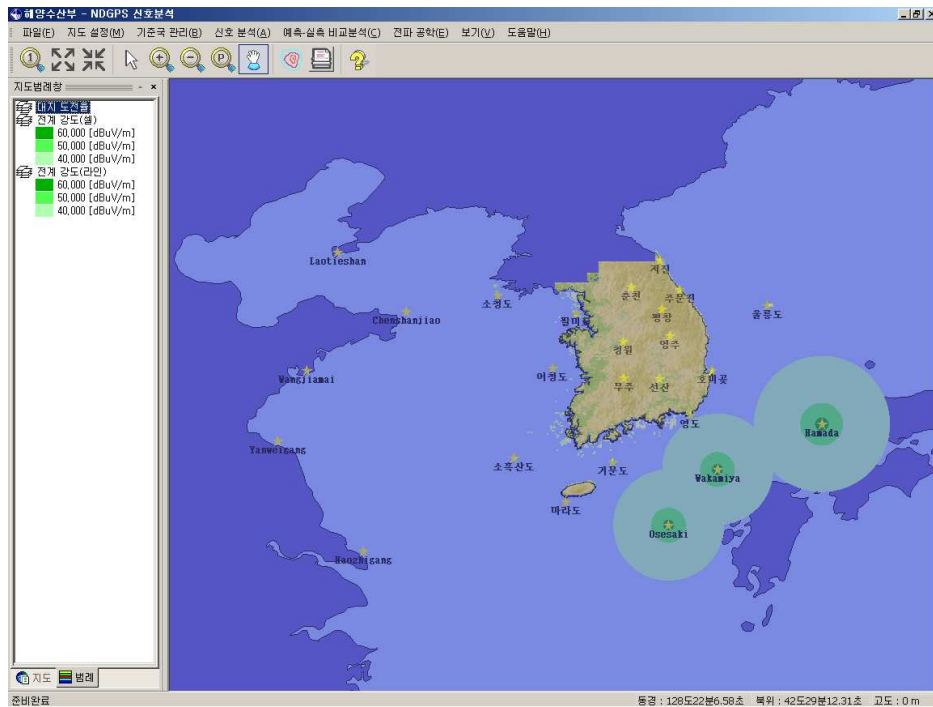


<그림 5-30> 한-중간 DGPS 보정신호 유효범위

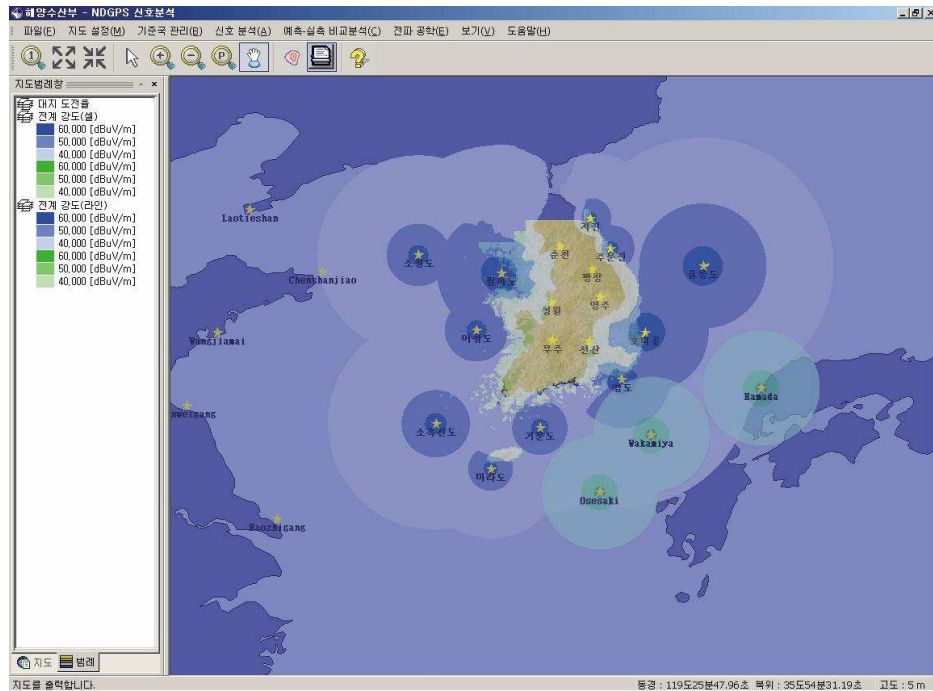
5.4.2 일본의 DGPS 보정신호 영향 분석

동해 및 남해역에서 일본의 DGPS 보정신호 유효범위를 파악하기 위하여 미국 해안경비대가 전계강도를 기준으로 중파대 전파특성 모델을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다.

결과적으로 일본 남서부에 위치한 Osesaki, Wakamiya 및 Hamada DGPS 기준국 신호가 우리나라 남해동부 해역 및 동해남부 해역에 영향을 미쳐 여수항, 부산항 및 울산항 입·출항 선박 및 주변 해역 항해선박이 거문도, 영도 및 호미곶 DGPS 기준국 신호 보다 일본의 Osesaki, Wakamiya 및 Hamada DGPS 기준국 신호를 받을 수 있는 것으로 파악되었다(<그림 5-31> 및 <그림 5-32> 참조).



<그림 5-31> 일본의 DGPS 보정신호 유효범위



<그림 5-32> 한-일간 DGPS 보정신호 유효범위

5.5 주변국의 DGPS 보정신호 간섭에 대한 대응전략

해양용 DGPS 보정신호는 해상교통안전, 해양관측 및 측량, 해양자원 조사 및 관리, 각종 해양공사 및 해상레저 활동 등에서 활발히 이용됨에 따라 21C 동북아 물류중심국가 건설에 있어서 중요한 국가 인프라로 자리매김 되어 가는 현실이다.

이러한 국가 사회적·안보적으로 중요한 DGPS 인프라에 대한 주변국 DGPS 보정신호가 우리나라 연안 해역에 영향을 미치는 유효범위에 대한 분석을 위하여 미국 해안경비대가 제시하는 전계강도 $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이상을 기준으로 중파대 전파특성 모델을 이용한 시뮬레이션 결과치를 분석하였다.

그 결과 중국 산둥반도에 위치한 Chenshanjiao DGPS기준국 신호가 <그림 5-33>과 같이 우리나라 서해 경기만 깊숙이 영향을 미쳐 인천항 입·출항 선박 및 주변 해역 항해선박이 소청도 및 팔미도 DGPS 기준국 신호 보다 중국의 Chenshanjiao DGPS기준국 신호를 받을 수 있는 것으로 파악되었다.

또한, 동해 및 남해역에서 일본의 DGPS 보정신호 유효범위를 파악한 결과 일본 남서부에 위치한 Osesaki, Wakamiya 및 Hamada DGPS 기준국 신호가 우리나라 남해역 및 동해남부 해역에 <그림 5-33>과 같이 영향을 미쳐 여수항, 부산항 및 울산항 입·출항 선박 및 주변 해역 항해선박이 거문도, 영도 및 호미곶 DGPS 기준국 신호 보다 일본의 Osesaki, Wakamiya 및 Hamada DGPS 기준국 신호를 받을 수 있는 것으로 파악되었다.

이와 같은 전파중첩 현황은 주변국과의 DGPS 보정신호의 이중 커버리지라는 긍정적인 측면도 고려할 수 있으나, 우리나라 특정 기준국의 시설이 자연재해나 장비 이상 등으로 가동이 중단되었을 경우 주변국의 DGPS보정신호 전파가 비이상적으로 침범하여 적절치 못한 영향을 미칠 수 있음을 보여주고 있다.

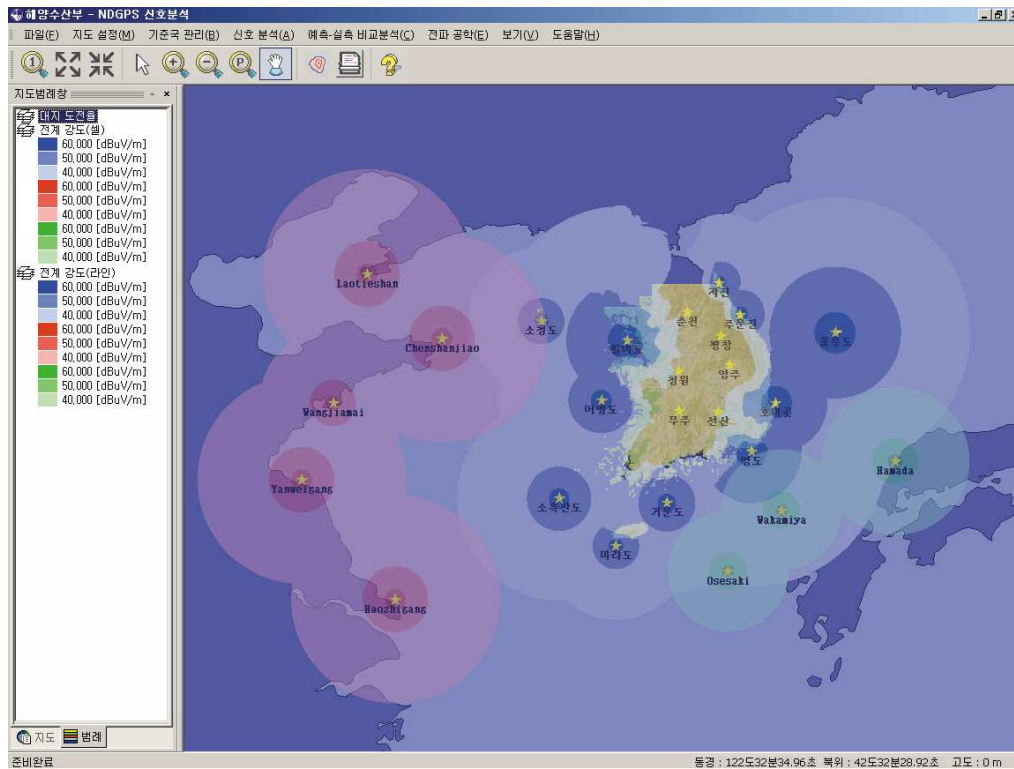
이는 국내 수출입 물동량의 99%가 선박을 통하여 이루어지고 있는 현실에서 동북아 물류중심 국가 건설의 교두보 역할을 하고 있는 부산항과 인천항 입·출항 선박의 안전운항에 중대한 위협으로 거론될 것이다.

또한, 국제규정상 주변국의 보정신호는 인접 연안국가간 유효범위가 200Km 이내로 제한되는 것이 원칙이나, 경우에 따라 우리나라 연안 향해 선박들이 중국 또는 일본의 보정신호에 의하여 DGPS위치가 결정되는 사례가 나타날 수 있다. 이러한 주변국의 비정상적 DGPS 보정신호 전파 중첩은 보정신호 품질의 신뢰도 유지 문제와 국방안보에 관련된 국가비상사태 등 유사시 우리나라의 보정신호 전파활용에 있어서 문제를 야기할 수 있다.

이러한 문제가 지속적으로 간과되거나 묵인된다면 우리나라 DGPS 구축사업의 의미가 크게 훼손될 뿐만 아니라 보다 정확한 위치정보를 제공하기 위한 DGPS 보정정보의 원활한 활용이 위협받게 될 것이다. 따라서 우리나라는 본 논문에서 얻어진 주변국의 DGPS 보정신호 중첩에 대한 시뮬레이션 결과를 근거로 향후 한·중·일간의 DGPS 보정신호 전파중첩 및 상호 신뢰도 문제 해결에 과학적인 자료로 활용할 수 있을 것이다.

특히 한,중,일,러 4개국간 극동전파표지협의회(FERNS) 정례회의를 통하여 DGPS 보정신호 상호중첩에 대한 논의가 있을시 근거 자료로서 우리나라 DGPS 보정신호 보호 대응전략으로 유익하게 활용될 것이다.

그리고 DGPS 보정신호 간섭대응 연구 모임을 추진하거나 선박에서 신호 이상시 연락체계를 확보하는 방안도 있을 것이다. 국제적으로는 국제항로표지협회(IALA) 및 국제해사기구(IMO) 등에서 연안국간 DGPS 전파간섭 배제를 위한 소위원회 운영토록 제안하는 방안도 있을 것이다.



제6장 결 론

해양수산부에서는 1996년 6월 국제해사기구(IMO)와 국제항로표지협회(IALA)의 권고에 따라 항만 입·출항로 및 협수로 항행선박의 안전운항을 위하여 1998년부터 2002년까지 총 120억원의 예산으로 연안 도서지역에 11개의 해양용 위성항법보정시스템(Maritime DGPS)을 구축·운영하고 있다. 또한 이들 해양용 위성항법보정시스템이 전 국토의 약 65% 지역에서 이용 가능함에 따라 육상 내륙 이용자들을 위하여 국무총리 훈령(제409호, 2000.12)에 의거 2002년부터 2007년까지 총 200억원의 예산으로 전국망 위성항법보정시스템(Nationwide DGPS) 6개소를 구축 중에 있다.

특히, 이러한 최첨단 위성항법보정시스템이 구축·운영됨으로써 해상교통안전, 해양관측 및 측량, 해양자원 조사 및 관리, 각종 해양공사 및 해상레저 활동 등은 물론이고 육상 물류이동 추적, 산림자원 조사 및 관리, 환경조사, 자연재해 조사 및 분석, 문화재 발굴 및 조사 등 다양한 산업분야에서 활발히 이용됨에 따라 21C 동북아 물류중심국가 건설에 있어서 중요한 국가 인프라로 자리매김 되어 가는 현실이다.

이러한 국가 사회적·안보적 중요 인프라의 이용현황을 보정 인프라 관점에서 파악하기 위해 우리나라 기준국 보정 전파신호를 측정하고 이에 대한 조사 분석이 필요함을 절감하게 되었다 또한 국제규범을 벗어난 주변국의 강력한 DGPS 보정신호에 의하여 이용에 방해를 받거나 위치 정확도가 낮아져 신뢰성을 잃어버릴 수 있다는 것은 심각한 문제로 정부차원에서 대처해야 할 일로 판단하게 되었다.

그러나 정부와 대다수의 DGPS 이용자들은 DGPS 측위인프라가 중요한 사회적 자원이라는 개념이 미흡하여 우리나라의 DGPS 기준국 전파운용현황의 미흡한 점을 인식 못 하고 있고 또한 우리나라 해역에 영향을 미치는 주변국 DGPS 보정신호의과다한 침투로 인한 중첩현상이 발생하더라도 그 피해를 적극적으로 대처하지 못하고 있다는 사실이다.

이러한 문제에 대하여 본 논문은 우리나라 11개 해양용 DGPS 기준국의 송출신호에 대하여 조사측정하여 문제점을 파악하고 대안을 제시하고자 하였다. 그리고 우리나라 연안 5개 DGPS 보정신호 감시국에서 수신된 주변국 기준국 전파의 측정 자료를 근거로 중파 전파특성 모델을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 그 결과 주변국 중국과 일본의 DGPS 기준국 전파중첩 실태가 세밀하고 과학적으로 파악되었다.

그 결과 중국 동부 연안의 Dasanshan, Chenshanjiao, Wangjiamai, Yangweigang 및 Haozhigang DGPS 기준국의 보정신호에 대하여 미국 해안경비대의 DGPS 유효전파 전계강도 $40\text{dB}\mu\text{m}/\text{m}$ 를 기준으로 중파이론 모델을 이용한 시뮬레이션 결과 산둥반도에 위치한 Chenshanjiao DGPS 기준국 신호는 약 250Km 이상 전파되어 우리나라 서해역 소청도까지 영향을 미치고 있다. 이에 따라 소청도 및 팔미도 DGPS 기준국 위치 보정정보를 이용하는 인천항 입·출항 선박의 안전운항에 큰 영향을 미치고 있다고 볼 수 있다. 이러한 중국측 DGPS 기준국 보정신호 전파 전달범위는 IALA에 보고되어 있는 출력범위를 크게 벗어나 있는 것으로 이 경우 중국측 DGPS 보정신호 전파가 우리나라 팔미도 및 소청도 DGPS 보정신호 보다 강할 경우 한·중간의 보정신호 품질의 신뢰도의 불확실성이 높을 뿐만 아니라 기선거리의 과도한 증가에 따라 위치정확도의 오차범위가 당연히 증가할 수밖에 없다.

반면, 일본의 남서부해안에 위치한 Osesaki, Wakamiya, Hamada DGPS 기준국의 보정신호 전파는 비교적 정상적인 200km 이내로 파악되었으나, 남해 및 동해역의 경우 한·일간 해역이 거리가 약 300Km로 일본의 DGPS 보정신호가 우리나라 남해 동부와 동해 남부해역에서 폭 넓게 침투하여 우리나라 거문도 및 영도 DGPS 기준국 신호와 중첩되고 있음을 확인할 수 있다.

이와 같은 전파중첩 현황은 주변국과의 DGPS 보정신호의 이중 커버리지라는 긍정적인 측면도 고려할 수 있으나, 우리나라 특정 기준국의 시설이 자연재해나 장비 이상 등으로 가동이 중단되었을 경우 주변국의 DGPS보정신호 전파가 비이상적으로 침범하여 적절치 못한 영향을 미칠 수 있음을 보여주고 있다.

이는 국내 수출입 물동량의 99%가 선박을 통하여 이루어지고 있는 현실에

서 동북아 물류중심 국가 건설의 교두보 역할을 하고 있는 부산항과 인천항 입·출항 선박의 안전운항에 중대한 위협으로 거론될 것이다.

또한, 국제규정상 주변국의 보정신호는 인접 연안국가간 유효범위가 200Km 이내로 제한되는 것이 원칙이나, 경우에 따라 우리나라 연안 항해 선박들이 중국 또는 일본의 보정신호에 의하여 DGPS위치가 결정되는 사례가 나타날 수 있다. 이러한 주변국의 비정상적 DGPS 보정신호 전파 중첩은 보정신호 품질의 신뢰도 유지 문제와 국방안보에 관련된 국가비상사태 등 유사시 우리나라의 보정신호 전파활용에 있어서 문제를 야기할 수 있다.

이러한 문제가 지속적으로 간과되거나 묵인된다면 우리나라 DGPS 구축사업의 의미가 크게 훼손될 뿐만 아니라 보다 정확한 위치정보를 제공하기 위한 DGPS 보정정보의 원활한 활용이 위협받게 될 것이다. 따라서 우리나라는 본 논문에서 얻어진 주변국의 DGPS 보정신호 중첩에 대한 시뮬레이션 결과를 근거로 향후 한·중·일간의 DGPS 보정신호 전파중첩 및 상호 신뢰도 문제 해결에 과학적인 자료로 활용할 수 있을 것이다.

특히 한,중,일,러 4개국간 극동전파표지협의회(FERNS) 정례회의를 통하여 DGPS 보정신호 상호중첩에 대한 논의가 있을시 근거 자료로서 우리나라 DGPS 보정신호 보호 대응전략으로 유익하게 활용될 것이다.

그리고 DGPS 보정신호 간섭대응 연구 모임을 추진하거나 선박에서 신호 이상시 연락체계를 확보하는 방안도 있을 것이다. 국제적으로는 국제항로표지협회(IALA) 및 국제해사기구(IMO) 등에서 연안국가간 DGPS 전파간섭 배제를 위한 소위원회 운영토록 제안하는 방안도 있을 것이다.

앞으로 추가적으로 진행되어야 할 과제로는 IALA 및 IMO에서 추진중인 1m 이내 해양용 DGPS 보정정보의 제공 기준에 대한 준비로서 우리나라 DGPS 기준국 보정정보의 정확도에 대한 현장조사가 시급히 마련되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

김석구, 해양유류 오염사고의 환경피해 보상정책에 관한 연구, 서울대학교, 2001, pp. 103-105.

김종철 외 5명, NDGPS의 국가정책 및 이용기술개발 전략수립을 위한 연구개발, 한국항공우주연구원, 2002, pp. 3-38.

박성기, 주창모, 안테나와 전파전파, 전파과학사, 1981, pp 290-295,

박용철 외, NDGPS 전파감시 시스템 구축을 위한 조사·분석 설계연구, 인하대학교, 2005, pp. 104-144.

박필호, IGS 자료를 이용한 한반도 및 동아시아 지각운동에 관한 연구, 연세대학교, 2001, pp. 12-26.

박황훈, 해양용 위성항법보정시스템(DGPS) 활용 다양화에 관한 연구, 인하대학교, 2004, pp. 5-26.

서상현 외, GNSS 사업목표 달성을 위한 조사분석 및 장기 계획 수립 연구, 한국해양연구원, 2005, pp.

이치하, DGPS 보정기준국 전파측정에 관한 연구, 안세기술(주), 2002, pp. 259-278

차득기, GPS 측량 이해, 성림출판사, 2006, pp. 168.

최윤수, 허민, 서용철역, 新 GPS 측량의 기초, 대한측량협회, 2005, pp. 148-167.

해양수산부, 위성항법보정시스템(DGPS) 전국망 구축 및 운영에 관한 규정, 2000,12.

해양수산부, DGPS 운영 실무 편람, 대전위성항법사무소, V.1-15.

황호연 외, DGPS 기준국 신호분석 및 소프트웨어 개발 연구, 세종대학교, 2003, pp. 8-23.

F. Terman, Electronic & Radio Engineering, Mcgraw Hill, 1955, pp 803-809

Forssell, B., *Radionavigation System*, London : Prentice Hall, 1991, pp.306-311.

Gregory, T. F., *Understanding the GPS*, Bethesda : Georesearch Inc., 1996, pp. 71-73.

Grewal, M. S., Weill, L. R. and Andrews, A. P., *Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration*, NY : A John Wiley & Sons, Inc., 2001, pp.103-130.

Hopmann-Wellenhof, B. H., Lichtenegger, H. & Collins, J., *Global Positioning System Theory and Practice*, New York : Springer-Verlag, 1992, pp. 212-227.

IALA, GNSS Vulnerability and Mitigation Measures, 2004. 12.

IALA, On the Performance and Monitoring of DGNSS Services in the Frequency Band 283.5-325kHz, 2004.12.

IALA, Report of Inter-sessional WG on DGNSS, IALA 1st e-Nav committee, 2006.9.18

IALA, The Current Status of U.S. Coast Guard's DGNSS Service

IALA, The Future of DGNSS, 2006, 12.

IALA, The Submission of a DGNSS Service for Recognition as a Component of the IMO WWRNS, 2006.12.

IMO, Revised maritime policy and requirements for a future global navigation satellite system resolution A.915(22), 2001.11.29

IMO, World-wide radionavigation system resolution A.953(23), 2003.11.5

ITU-R, Technical characteristics of differential transmissions for global navigation satellite systems from maritime radio beacons in the frequency band 283.5-315 kHz in Region 1 and 285-325 kHz in Regions 2 and 3, ITU-R M.823-2, 1997.10 and M.823-3, 2006.3

Kaplan, E. D., Understanding GPS –Principles and Application, MA : Artech House, Inc., 1996, pp. 59-81.

Logsdon, T., *The Navstar Global Positioning System*, New York : Van
Nostrand Reinhold, 1992,

Nick Ward, The Future of DGNSS, Journal of institute of navigation, 2006.1

Rothacher, M. & Mervart, L. (eds), *Bernese GPS Software Version 4.0
Manual*, Berne : Astronomical Institute University, 1996,

RTCM, RTCM Recommended Standards for Differential NAVSTAR GPS
Service Ver. 2.1, *RTCM Paper 194-93/SC104-STD*, Washington, D.C.
: RTCM., 1994,

U.S. New Space-based PNT Policy, The Navigation Center of Excellence,
2004.